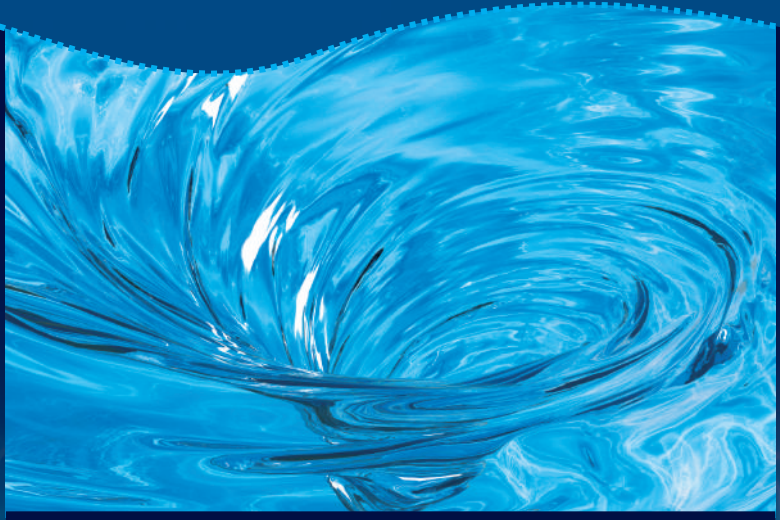
5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA

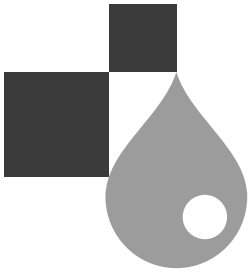
5th CROATIAN WATER CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION

CROATIAN WATERS FACING THE CHALLENGE OF CLIMATE CHANGES



ZBORNIK RADOVA / PROCEEDINGS

OPATIJA , 18. - 21. SVIBNJA (MAY) 2011.



5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA

5th CROATIAN WATER CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION

CROATIAN WATERS FACING THE CHALLENGE OF CLIMATE CHANGES

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA (MAY) 2011.

Izdavač:

HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Uredništvo

doc. dr. sc. Danko Biondić
dr. sc. Danko Holjević
Ljudevit Tropan, dipl.ing.

Likovno rješenje ovitka

IO d.o.o. Rijeka

Grafička priprema

IO d.o.o. Rijeka

Tisak

NEOGRAF d.o.o.
Žlibina 4, 51262 Kraljevica

ISBN 978-953-7672-01-0
CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 766875

Autori su u potpunosti odgovorni za sve što je iznijeto u njihovim radovima. Izdavač, uredništvo Zbornika radova, te članovi Znanstveno - stručnog i Organizacijskog odbora 5. hrvatske konferencije o vodama s time u svezi ne snose nikakvu odgovornost.

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA

5th CROATIAN WATER CONFERENCE

HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA

CROATIAN WATERS FACING THE CHALLENGE OF CLIMATE CHANGES

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

UREDNIŠTVO
EDITORIAL BOARD

DANKO BIONDIĆ
DANKO HOLJEVIĆ
LJUDEVIT TROPAN

OPATIJA 2011.

SADRŽAJ

Uvod **17**

REFERATI PO POZIVU

P 01. Zdravko Krmek, Ružica Drmić
VODNO GOSPODARSTVO PRED IZAZOVOM PROVEDBE VODNOG *ACQUISA* **23**

P 02. Jadranko Husarić, Zoran Đuroković, Danko Biondić, Mario Obrdalj
ZAŠTITA OD POPLAVA U HRVATSKOJ **39**

P 03. Danko Biondić, Sanja Barbalić
NACRT PLANA UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA **53**

P 04. Ivan Güttler, Dušan Trninić, Tomislava Bošnjak, Lidija Srnec, Mirta Patarčić, Čedo Branković
POTENTIAL NEAR FUTURE RUNOFF CHANGES IN CROATIA **65**

TEMA 1. STANJE VODA I O VODI OVISNIH EKOSUSTAVA, HIDROLOŠKI EKSTREMI I NJIHOVE POSLJEDICE, TRENDOVI - OBORINE, KOPNENE POVRŠINSKE VODE, PODZEMNE VODE, PRIJELAZNE VODE I PRIOBALNO MORE

R 1.01. Marija Beraković, Boris Beraković
KLIMATSKE PROMJENE I VODA **79**

R 1.02. Živko Vuković, Ivan Halkijević
GLOBALNI IZAZOVI KLIMATSKIH PROMJENA I VODNOGOSPODARSKA PLANIRANJA **89**

R 1.03. Josip Terzić, Siniša Širac, Slobodan Miko, Gerhard Kuschnig, Mojca Lukšić
THE CC-WATERS PROJECT: PROJECT PRESENTATION WITH SPECIAL REFERENCE TO PILOT SITES IN CROATIA **99**

R 1.04. Marjana Gajić-Čapka, Ivan Güttler, Čedo Branković
CLIMATE AND CLIMATE CHANGE ANALYSES FOR CC-WATERS PROJECT **109**

R 1.05. Josip Rubinić, Bojana Horvat, Josip Terzić, Tomislava Bošnjak
ANALIZA KLIMATSKIH PROMJENA / VARIJACIJA NA PILOT PODRUČJIMA U HRVATSKOJ **119**

R 1.06. Mirta Patarčić, Ivan Güttler, Čedo Branković
SIMULACIJE REGIONALNIM KLIMATSKIM MODELOM S RAZLIČITIM SHEMAMA PARAMETRIZACIJE PROCESA U TLU **129**

R 1.07. Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Borisava Blagojević
DEFINITION OF CONDITIONAL PROBABILITY OF CATASTROPHIC FLOODS AND DROUGHTS **135**

R 1.08. Ksenija Cindrić, Josip Juras, Marjana Gajić-Čapka, Domagoj Mihajlović
ANALIZA SUŠE POMOĆU STANDARDIZIRANOG OBORINSKOG INDEKSA **145**

R 1.09. Atila Bezdan, Radovan Savić, Atila Salvai, Gabrijel Ondrašek
EFEKTI KLIMATSKIH PROMENA NA VISINU PADAVINA U VOJVODINI . **155**

R 1.10. Renata Sokol Jurković
PROMJENLJIVOST GODIŠNJE KOLIČINE OBORINE NA ŠIREM ZAGREBAČKOM PODRUČJU I DIJELU SREDIŠNJE HRVATSKE **163**

R 1.11. Palma Orlović-Leko, Slađana Strmečki, Jelena Dautović, Mia Malinarić, Zlatica Kozarac, Božena Ćosović, Marta Plavšić
OKSIDACIJSKO STANJE ORGANSKE TVARI U OBORINAMA **169**

R 1.12. Nikolina Kovačević, Nikolina Furlan, Danica Rebić, Željko Linšak, Ivana Gobin
MIKROBIOLOŠKA ANALIZA KIŠNICE U PRIMORSKO - GORANSKOJ ŽUPANIJI **177**

R 1.13. Arijana Senić, Lidija Kratofil, Vesna Tusić, Dražen Budišić
PROCJENA RIZIKA OD POPLAVA NA SLIVU RIJEKE SAVE U REPUBLICI HRVATSKOJ **185**

R 1.14. Lidija Kratofil, Vesna Tusić, Arijana Senić
UČESTALOST I INTENZITET VODNIH VALOVA NA SLIVU SAVE **195**

R 1.15. Andrej Vidmar, Anton Čotar, Lidija Globevnik, Mitja Brilly
EXTREME FLOOD FLOW MEASUREMENT OF THE SAVA RIVER **207**

R 1.16. Luka Štravs, Mitja Brilly, Andrej Vidmar
THE SAVA RIVER LOW FLOW FORECASTING SYSTEM **215**

R 1.17. Igor Ružić, Ivana Sušanj, Nevenka Ožanić, Elvis Žic
OTJECANJA SA SLIVA SLANOG POTOKA I IZVORA RIJEKE DUBRAČINE NA PODRUČJU VINODOLSKE DOLINE **225**

R 1.18. Mladen Petričec, Mirjana Švonja, Ivana Ivanković, Vedrana Ričković
REŽIMI OBORINA I OTJECANJA NA PODRUČJU DALMATINSKIH SLIVOVA **237**

R 1.19. Ranko Žugaj, Željko Andreić
UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA PROTOK OMBLE **249**

R 1.20. Goran Palijan
ODREĐIVANJE GRANIČNOG VODOSTAJA PLAVLJENJA KOPAČKOG RITA NA PRIMJERU POPLAVE U LISTOPADU - STUDENOM 2009. GODINE **259**

R 1.21. Branko Vučijak, Esena Kupusović, Nataša Smolar-Žvanut, Francesca Antonelli
EKOLOŠKI PRIHVATLJIV PROTICAJ U ODRŽIVOM UPRAVLJANJU VODAMA U BIH **267**

R 1.22. Samo Čarman, Alenka Šajn Slak
VAŽNOST HIDROMETRIČKIH PODATAKA U VRIJEME KLIMATSKIH PROMJENA I HIDROLOŠKIH RIZIKA **277**

R 1.23. Damir Žibrat
PRINCIPI RADA I PRIMJENE VODONEPROPUSNIH ULTRAZVUČNIH INSTRUMENATA ZA MJERENJE RAZINE **287**

R 1.24. Alena Vlašić, Mira Filipović
AKTIVNOSTI KOJE UTJEČU NA STANJE VODA **295**

R 1.25. Tina Miholić, Darko Barbalić, Đorđa Medić
PREGLED TIPOVA POVRŠINSKIH VODA S PRIJEDLOGOM NAJBOLJIH MJESTA IZABRANIH NA OSNOVU KEMIJSKIH ELEMENATA KOJI PRATE BIOLOŠKE ELEMENTE **305**

R 1.26. Mira Filipović, Darko Barbalić, Željka Kordej De Villa
HIDROMORFOLOŠKO STANJE RIJEKA I JEZERA U REPUBLICI HRVATSKOJ **315**

R 1.27. Tina Miholić, Darko Barbalić, Sandra Šturlan Popović
PREGLED STANJA VODA U ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA PO ZAKONU O ZAŠTITI PRIRODE **325**

R 1.28. Darko Barbalić, Đorđa Medić, Sanja Barbalić
PRIJEDLOG PROSTORNOG RASPOREDA MREŽE OPERATIVNOG MONITORINGA PREMA OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA **333**

R 1.29. Neven Bujas, Jasmina Antolić, Đorđa Medić
PLANIRANJE MONITORINGA KEMIJSKOG STANJA VODA U SKLADU SA PLANOVIMA UPRAVLJANJA **341**

R 1.30. Dagmar Šurmanović, Marija Marijanović Rajčić, Siniša Širac, Zlatko Mihaljević, Grozdan Kušpilić
ZNANSTVENO-ISTRAŽIVAČKI PROJEKTI - PODLOGE ZA DOPUNU UREDBE O STANDARDU KAKVOĆE VODA (NN 89/10) **349**

R 1.31. Frank Steinbacher, Robert Klar, Markus Aufleger
AIRBORNE HYDROMAPPING AND HYDROCONNECT SHALLOW WATER BATHYMETRY - PIONEERING UNDERWATER INSIGHTS **359**

R 1.32. Krešimir Maldini, Helena Crnojević, Simana Milović, Sanja Maldini, Marija Marijanović Rajčić
EKOTOKSIČNI METALI NA MEĐUDRŽAVNIM VODOTOCIMA REPUBLIKE HRVATSKE **371**

R 1.33. Damir Tomas, Marija Vrsalović, Sanja Maldini, Jasna Mrvčić, Marija Marijanović Rajčić
KEMIJSKI POKAZATELJI ORGANSKOG ONEČIŠĆENJA NA RIJECI SAVI **379**

R 1.34. Sandra Radić Brkanac, Draženka Stipaničev
TOKSIKOLOŠKO ISTRAŽIVANJE VODE RIJEKE ILOVE **385**

R 1.35. Lidija Tadić, Anamarija Grgurovac, Marija Šperac
ANALIZA TEMPERATURE VODE RIJEKA DRAVE I DUNAVA **395**

R 1.36. Mladen Kuhta, Željka Brkić
TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF LAKE VRANA ON THE ISLAND OF CRES **403**

R 1.37. Barbara Županić, Ivan Radeljak, Branimir Barač
SANACIJA I REVITALIZACIJA TRAKOŠĆANSKOG JEZERA **411**

R 1.38. Olivera Gavrilović, Milena Dalmacija, Božo Dalmacija, Dejan Krčmar, Srđan Rončević
SOLIDIFIKACIJA/STABILIZACIJA SEDIMENTA VODOTOKA KRIVAJA (SRBIJA) ZAGAĐENOG METALIMA **419**

R 1.39. Renata Ćuk, Ivan Vučković, Dagmar Šurmanović, Zlatko Mihaljević
TESTIRANJE PROGRAMA ASTERICS PRILIKOM OCJENE KAKVOĆE VODE **429**

R 1.40. Damir Žibrat
ANALIZA PRINCIPA RADA pH TRANSMITERA NOVE GENERACIJE **439**

R 1.41. Dragutin Petošić, Ivan Mustać, Vilim Filipović, Danko. Holjević, Marinko Galiot, Anita Brajković, Marko Klarić
ZNAČAJKE MONITORINGA POLJOPRIVREDNIH TALA NA PODRUČJU MELIORACIJSKOG KANALA ZA NAVODNJAVANJE BIĐ-BOSUTSKOG POLJA **447**

R 1.42. Ivan Šimunić, Ankica Senta Marić, Palma Orlović-Leko, Tanja Likso, Franjo Tomić, Tatiana Minkina, Vilim Filipović, Miran Šimunić
TEŠKI METALI U HIDROMELIORIRANOM TLU I DRENAŽNOJ VODI **459**

R 1.43. Daria Čupić
PREGLED STANJA TIJELA PODZEMNIH VODA **469**

R 1.44. Ranko Biondić, Božidar Biondić, Josip Rubinić, Hrvoje Meaški
OCJENA STANJA I RIZIKA CJELINA PODZEMNIH VODA NA KRŠKOM PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE **479**

R 1.45. Irena Kopač
GROUNDWATER MANAGEMENT HARMONIZED WITH EU WATER FRAMEWORK DIRECTIVE AND WHO WATER SAFETY PLAN IN CASE STUDY FOR PART OF NORTHEAST OF SLOVENIA **491**

R 1.46. Petru Enciu, Cristina Dumitrica
INTERNAL DRIVING FORCES ON GROUNDWATER CHEMISTRY IN TIMIS PLAIN, ROMANIA **501**

R 1.47. Josip Rubinić, Milan Mihovilović
REGIONALNA ANALIZA KOLEBANJA RAZINA PODZEMNIH VODA U ISTRI **511**

R 1.48. Ozren Larva, Tamara Marković, Vinko Mraz
PROMJENA IZDAŠNOSTI IZVORIŠTA „PAŠINO VRELO“ - UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA ILI DUGOGODIŠNJE EKSPLOATACIJE PODZEMNE VODE ? **521**

R 1.49. Tatjana Vlahović, Andrea Bačani
NITRATI U PODZEMNOJ VODI CRPILIŠTA VARAŽDIN **531**

R 1.50. Diana Mance, Danijela Lenac, Tamara Hunjak, Zvjezdana Roller-Lutz, Josip Rubinić
MONITORING RIJEČKIH IZVORA - RAZVOJ, PROMJENE, SAZNANJA I PROBLEMI **541**

R 1.51. Danijela Lenac, Darija Vukić Lušić, Dušanka Ćuzela- Bilać, Vladimir Mićović
POJAVE ZAMUĆENJA GLAVNIH RIJEČKIH IZVORIŠTA TIJEKOM 2008. I 2009. GODINE **551**

R 1.52. Petra Kovač-Konrad, Nenad Buzjak
PRIMIJENJENA SPELEORONILAČKA ISTRAŽIVANJA U ZAŠTITI KRŠKIH VODONOSNIKA HRVATSKE **561**

R 1.53. Miron Kovačić, Staša Borović, Izidora Marković
GEOTERMALNE VODE REPUBLIKE HRVATSKE: KORIŠTENJE I TURISTIČKA VALORIZACIJA **573**

R 1.54. Nenad Leder, Sanja Barbalić, Valerija Filipović, Darko Barbalić
PRIJEDLOG RAZGRANIČENJA PRIOBALNOG MORA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA **581**

R 1.55. Srđan Čupić, Nenad Domijan, Hrvoje Mihanović, Marko Mlinar, Nenad Leder, Zvonko Gržetić
KLIMATSKE PROMJENE, PORAST RAZINE MORA NA HRVATSKOJ OBALI JADRANA ? **593**

R 1.56. Grozdan Kušpilić, Robert Precali, Vlado Dadić, Dagmar Šurmanović, Marija Marijanović Rajčić
PRELIMINARNI REZULTATI NADZORNOG MONITORINGA PRIJELAZNIH I PRIOBALNIH VODA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA EU (2000/60/EC) **601**

R 1.57. Vlado Dadić, Damir Ivanković, Anica Juren, Biserka Mladinić, Melita Došen
SUSTAV ZA PRAĆENJE POKAZATELJA MORSKOG OKOLIŠA, RIBARSTVA I MARIKULTURE **609**

R 1.58. Marinka Kutle
PLAVA ZASTAVA U SLUŽBI ZAŠTITE MORA I OBALNOG POJASA **621**

R 1.59. Denis Pešut, Nikolina Furlan, Darija Vukić Lušić, Blanka Pružinec Popović, Vladimir Mićović, Dražen Lušić
ISPITIVANJE KAKVOĆE MORA NA PLAŽAMA PRIMORSKO - GORANSKE ŽUPANIJE U 2009. I 2010. GODINI **631**

R 1.60. Branka Grbec, Mira Morović, Alica Bajić
VIRTUALNI LABORATORIJ - SUSTAV ZA PRAĆENJE PROMJENJIVOSTI FIZIKALNIH PARAMETARA U ATMOSFERI, GRANIČNOM SLOJU ATMOSFERA - MORE I U MORU **639**

R 1.61. Damir Bekić, Dalibor Carević, Gordon Gilja, Neven Kuspilić
MJERENJE MORSKIH STRUJA I VALOVA U ŠIBENSKOM KANALU **647**

R 1.62. Slavica Matijević, Grozdan Kušpilić, Živana Ninčević, Nada Krstulović, Natalija Bojanić, Danijela Bogner
UTJECAJ PODMORSKOG ISPUSTA OTPADNIH VODA NA VODENI STUPAC I SEDIMENT U SREDNJEM JADRANU **655**

R 1.63. Elvira Bura-Nakić, Božo Žonja, Marija Marguš, Irena Ciglenečki
SULFUR SPECIES IN ROGOZNICA LAKE - EXTREME ANOXIC SEAWATER SYSTEM ON THE ADRIATIC COAST **665**

R 1.64. Helena Crnojević, Renata Ćuk, Marija Marijanović Rajčić, Krešimir Maldini, Ivan Grabar, Željko Kwokal, Marina Mlakar
RASPODJELA TRAGOVA METALA U VODI I DAGNJAMA ESTUARIJA KRKE I CETINE TE KAŠTELANSKOG ZALJEVA **673**

R 1.65. Iva Šebelja
SEAWATER QUALITY MONITORING DURING DREDGING ACTIVITIES AT CEPSA PROJECT **683**

TEMA 2. SUSTAVI UREĐENJA I KORIŠTENJA VODA I ZEMLJIŠTA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI

R 2.01. Željko Pavlin, Zlatko Pletikapić
RAZLOZI IZGRADNJE I KONCEPCIJA POKRETANJA IZGRADNJE VIŠENAMJENSKIH HIDROTEHNIČKIH SUSTAVA U HRVATSKOJ **697**

R 2.02. Zoran Đuroković, Silvio Brezak, Silvija Sitar, Nives Brnić-Levada
VIŠENAMJENSKI SUSTAVI U VODNOM GOSPODARSTVU - ODGOVOR NA KLIMATSKE PROMJENE **709**

R 2.03. Boris Beraković, Eva Ocvirk, Irvin Ahatović
MHE BRODARCI I OBRANA OD POPLAVA KARLOVCA **719**

R 2.04. Marijan Marasović
VIŠENAMJENSKO KORIŠTENJE VODA LIKE I GACKE DOGRADNJOM HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ **727**

R 2.05. Miroslav Steinbauer, Mario Obrdalj, Sanja Barbalić, Nataša Gecan
PROJEKT UPRAVLJANJA NERETVOM I TREBIŠNJICOM **739**

R 2.06. Mijo Vranješ, Davor Romić
PREGRAĐIVANJE RIJEKE NERETVE **749**

R 2.07. Goran Gjetvaj
MOGUĆNOSTI POVEĆANJA STABILNOSTI HIDROTEHNIČKIH NASIPA **761**

R 2.08. Igor Ružić, Čedomir Benac, Suzana Ilić, Ivana Sušanj, Kristijan Ljutić
PROMJENE KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA I REGULACIJA BUJIČNIH VODOTOKA: UTJECAJ NA ŽALA LIBURNIJE I OTOKA CRESA **771**

R 2.09. Gorazd Novak, Matej Müller, Franci Steinman, Daniel Kozelj
HYDRAULIC ANALYSIS OF TRANSBOUNDARY RIVERS - Dra-Mur-CI PROJECT **781**

R 2.10. Matej Mueller, Gašper Rak, Franci Steinman, Gorazd Novak, Sašo Šantl
HYBRID HYDRAULIC MODELING OF HYDROPOWER PLANTS AT SAVA NEAR THE NATIONAL BORDER **789**

R 2.11. Admir Ćerić, Nijaz Lukovac, Nijaz Zerem
UPRAVLJANJE VODNIM REŽIMOM LIVANJSKOG POLJA U CILJU RESTAURIRANJA MOČVARE I ZAŠTITE BIOLOŠKE RAZNOLIKOSTI **803**

R 2.12. Danko Holjević, Anita Brajković, Marinko Galiot, Josip Marušić, Berislav Glavaš
PET GODINA REALIZACIJE NACIONALNOG PROJEKTA NAVODNJAVANJA I GOSPODARENJA POLJOPRIVREDNIM ZEMLJIŠTEM I VODAMA **815**

R 2.13. Elizabeta Kos, Ružica Drmić, Danko Holjević, Marinko Galiot, Danko Biondić
HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE U OKVIRU NOVE PODZAKONSKE REGULATIVE **825**

R 2.14. Josip Marušić, Damir Bekić, Danko Holjević
UTJECAJ PRIRODNIH OBILJEŽJA MELIORACIJSKIH PODRUČJA NA GLAVNE PARAMETRE SUSTAVA POVRŠINSKE ODVODNJE **831**

R 2.15. Marko Josipović, Jasna Šoštarić, Hrvoje Plavšić, Josip Marušić, Monika Marković, Željko Kraljičak
KONTROLIRANO NAVODNJAVANJE NA PRINCIPIMA ODRŽIVE POLJOPRIVREDE **843**

R 2.16. Svetlana Potkonjak, Mile Božić, Marko Bajčetić, Biljana Bošnjak
TEHNO-ECONOMIC ASPECTS OF CONSTRUCTION OF REGIONAL IRRIGATION SYSTEMS **855**

R 2.17. Marijan Babić, Marinko Galiot, Danko Holjević, Josip Juračak, Enes Obarčanin
TEHNIČKI ASPEKTI STUDIJA IZVEDIVOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA **863**

R 2.18. Ivana Mihalić Fabris, Josip Rubinić, Nenad Ravlić
AKUMULACIJE ZA NAVODNJAVANJE U ISTRI - RAZVOJ IDEJA I NOVI PRISTUPI **873**

R 2.19. Duška Kunštek, Kristina Potočki, Ivana Carević
PRIKAZ ČIMBENIKA PRI ODABIRU SUSTAVA NAVODNJAVANJA DALJ .. **883**

R 2.20. Marija Vukelić-Shutoska, Tatjana Mitkova, Mile Markoski
MANAGEMENT OF WATERS AND SOILS IN SKOPJE VALLEY ACCORDING TO SUSTAINABLE AGRICULTURE **895**

R 2.21. Valery Kalinitchenko, Tatiana Minkina, Anatolij Endovitsky, Natalja Solntseva, Andrej Skovpen, Ivan Šimunić, Vladimir Chernenko, Andrej Boldyrev, Artem Rykhlik
SOIL, HYDROLOGYCAL AND HYDROGEOLOGYCAL EXTREMES OF CURRENT IRRIGATION CONCEPT **905**

R 2.22. Marko Josipović, Aleksandra Sudarić, Ivica Liović, Jasna Šoštarić, Monika Marković, Hrvoje Plavšić
UROD SOJE (GLYCINE MAX (L.) MERR.) I ISPIRANJE DUŠIKA U NAVODNJAVANJU I GNOJIDBI DUŠIKOM **917**

R 2.23. Monika Marković, Marko Josipović, Jasna Šoštarić, Ivan Brkić, Goran Krizmanić, Hrvoje Plavšić
IRRIGATION AND N FERTILIZATION IMPACT ON MAIZE YIELD (Zea Mays L.) AND NITROGEN LEACHING **929**

TEMA 3. SUSTAVI JAVNE VODOOPSKRBE, ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI

R 3.01. Robert Kartelo
PRIPREMA VELIKIH INFRASTRUKTURNIH PROJEKATA ZA FINANCIRANJE PUTEM KOHEZIJSKOG FONDA EUROPSKE UNIJE **939**

R 3.02. Mojca Lukšić
UPRAVLJANJE SREDSTVIMA EU-a ZA SUFINANCIRANJE INFRASTRUKTURNIH PROJEKATA U SEKTORU VODA **949**

R 3.03. Jelena Ambrenac
AKTIVNOSTI KOMUNIKACIJE I VIDLJIVOSTI PREMA EU PROCEDURAMA U PROJEKTIMA SUFINANCIRANIM PUTEM IPA FONDA **959**

R 3.04. Lidija Šljivarić, Robert Kartelo
IPA „VELIKI“ INFRASTRUKTURNI PROJEKT SLAVONSKI BROD **967**

R 3.05. Fani Bojanić, Vesna Grizelj Šimić
PROJEKT ZAŠTITE OD ONEČIŠĆENJA U PRIOBALNOM PODRUČJU 1 - OCJENA REZULTATA **977**

R 3.06. Tanja Ecimović, Marko Veselčić, Dinko Polić
PROJEKT UNUTARNJE VODE **985**

R 3.07. Luka Jelić, Dragutin Mihelčić
OPTIMALIZACIJA VELIKIH VODOOPSKRBNIH SUSTAVA KORIŠTENJEM REGULACIJSKIH VENTILA **995**

R 3.08. Davor Malus, Dražen Vouk
MOŽE LI SE ODVOJITI GAŠENJE POŽARA OD JAVNE VODOOPSKRBE ? . **1005**

R 3.09. Renata Vidaković Šutić, Mirjana Švonja, Toni Carević
MOGUĆNOSTI ORGANIZACIJE VODOOPSKRBE PREMA SMJERNICAMA STRATEGIJE UPRAVLJANJA VODAMA U ŠIBENSKO - KNINSKOJ ŽUPANIJI **1011**

R 3.10. Dražen Vouk, Davor Malus, Ivan Halikjević, Živko Vuković
MODELIRANJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA GRADA KOPRIVNICE **1021**

R 3.11. Slaven Dobrović, Davor Ljubas, Alen Džeko
ANALIZA MOGUĆNOSTI OPSKRBE OTOKA LASTOVA PITKOM VODOM KORIŠTENJEM LCA METODOLOGIJE **1031**

R 3.12. Višnja Oreščanin, Robert Kollar, Karlo Nađ
APPLICATION OF ELECTROCHEMICAL METHODS FOR THE PREPARATION OF DRINKING WATER - AN EXAMPLE OF EASTERN SLAVONIA WATERS **1039**

R 3.13. Lovorka Bilajac, Tomislav Rukavina
JAVNOZDRAVSTVENI ZNAČAJ ODRŽAVANJA KVALITETE BAZENSKIH VODA **1049**

R 3.14. Gebhard Weiss
STORMWATER TREATMENT IN COMBINED AND SEPARATE SEWER SYSTEMS: NECESSITY AND BENEFIT **1059**

R 3.15. Marko Brajković, Gorana Ćosić-Flajsig, Siniša Širac
PRIMJENA TEHNOLOGIJA TREĆEG STUPNJA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA U HRVATSKOJ **1073**

R 3.16. Tomislav Ivanković, Jasna Hrenović
BIOLOŠKO UKLANJANJE FOSFATA IZ OTPADNIH VODA - PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA **1087**

R 3.17. Elvira Vidović, Ante Jukić
PROČIŠĆAVANJE OTPADNE VODE METODOM ELEKTROKOAGULACIJE **1097**

R 3.18. Dean Rumora, Goran Vizentin
MBR TEHNOLOGIJA, PREDNOSTI U PROIZVODNJI I ODLAGANJU OTPADNIH MULJEVA **1107**

R 3.19. Gorana Ćosić-Flajsig
HRVATSKO ZAKONODAVSTVO GOSPODARENJA MULJEM SA KOMUNALNIH UREĐAJA **1117**

R 3.20. Nenad Mikulić
PREGLED METODA OBRADE PROCJEDNIH VODA, PREDNOSTI I NEDOSTACI **1131**

TEMA 4. VODNA POLITIKA, OBRAZOVANJE, VODNOGOSPODARSKO PLANIRANJE, MEĐUNARODNA SURADNJA I SUDJELOVANJE JAVNOSTI

R 4.01. Ivana Gudelj, Jasna Hrenović, Lidija Runko Luttenberger, Ankica Senta Marić, Mario Šiljeg, Vice Šoljan
OBRAZOVANJE I VODNO GOSPODARSTVO **1143**

R 4.02. Josip Marušić
CJELOŽIVOTNO OBRAZOVANJE ZA POTREBE VODNOG GOSPODARSTVA **1149**

R 4.03. Vanja Travaš, Nevenka Ožanić, Barbara Karleuša
ULOGA EKSPERIMENTALNE HIDRAULIKE NA HIDROTEHNIČKOM USMJERENJU GRAĐEVINSKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U RIJECI . **1161**

R 4.04. Snježana Zbašnik
NOVI PRISTUP PLANIRANJU U VODNOM GOSPODARSTVU S POSEBNIM NAGLASKOM NA FINANCIJSKO PLANIRANJE **1171**

R 4.05. Boris Crnković, Željko Požega, Vedran Pejak
MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA JAVNO PRIVATNOG PARTNERSTVA U IZGRADNJI SUSTAVA JAVNE VODOOPSKRBE, ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA **1181**

R 4.06. Željko Rozić
PRIMJENA SIMULACIJE I OPTIMALIZACIJE U RADU URBANOG VODNOG SUSTAVA **1191**

R 4.07. Aida Bučo-Smajić, Branka Beović
TEHNIČKA PRAVILA NJEMAČKOG STRUČNOG UDRUŽENJA ZA PLIN I VODU DVGW **1205**

R 4.08. Tatjana Uzelac, Katja Sošić
ZELENE POVRŠINE URBANIH SREDINA KAO POTENCIJAL ZAŠTITE OD NEGATIVNOG DJELOVANJA VODA **1211**

R 4.09. Vlado Božić
VODA - UVJET ŽIVOTA U PUSTINJAČKIM ŠPILJAMA NA BRAČU **1221**

R 4.10. Mark Womersley, Božidar Deduš, Vladan Babović, Joost Buurman
CLIMATE PROOFING URBAN WATERS: CHALLENGES AND ASSOCIATED RESEARCH AGENDA **1231**

R 4.11. Hrvoje Mihanović, Marko Mlinar, Srđan Čupić, Nenad Domijan, Nenad Leder, Zvonko Gržetić
SPEKTRALNA ANALIZA POVRŠINSKIH VALOVA UZROKOVANIH VJETROM U SJEVERNOM JADRANU **1243**

KAZALO AUTORA **1253**

UVOD

Peta hrvatska konferencija o vodama održana je od 18. do 21. svibnja 2011. godine u Opatiji pod motom **HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA**. Na konferenciji se kroz četiri znanstveno - stručne teme:

1. **Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - oborine, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more,**
2. **Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti,**
3. **Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti,**
4. **Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti,**

sveobuhvatno i interdisciplinarno raspravljalo o stanju voda i upravljanju vodama u Hrvatskoj u uvjetima klimatskih promjena, a rasprave su rezultirale korisnim smjernicama za budućnost.

Klimatske promjene su evidentne, pa Hrvatska kao i ostale države mora planirati i poduzimati opsežne mjere za ublažavanje njihovih posljedica. Vodno gospodarstvo se nalazi pred velikim izazovom djelujući u promijenjenim prirodnim uvjetima koje karakteriziraju sve učestalije pojave hidroloških ekstrema, poplava i suša. U novonastalim uvjetima i nadalje se moraju osigurati dovoljne količine vode za piće za nesmetanu vodoopskrbu stanovništva i dovoljne količine tehnološke vode za nesmetanu vodoopskrbu gospodarstva. Na primjereni način mora se zaštititi stanovništvo i imovina od poplava i drugih oblika štetnog djelovanja voda, moraju se osigurati dovoljne količine vode za navodnjavanje u sušnim razdobljima kako bi se smanjile štete od suša u poljoprivredi, a mora se voditi računa i o održivom razvoju hidroenergetike kao obnovljivog izvora energije. Istovremeno se moraju provoditi sve potrebite mjere kako bi se postiglo dobro ekološko stanje voda prema europskim normama. Na petoj hrvatskoj konferenciji o vodama njeni su sudionici različitih struka predstavili stanje voda i trendove, te su predlagali interdisciplinarne stručne i znanstvene projekte i konkretna rješenja sa ciljem unapređivanja upravljanja vodama u novim uvjetima.

Nove zahtjevne zadaće pred vodnim gospodarstvom ne mogu se realizirati bez dovoljnog broja odgovarajuće obrazovanih stručnjaka, koji će svoja primarna znanja stjecati na visokim učilištima i koji će se kroz svoj radni vijek trajno stručno usavršavati. Peta hrvatska konferencija o vodama bila je prigoda da iskusni stručnjaci i znanstvenici razmjene ideje i iskustva o načinima i sadržajima edukacije vodnih gospodarstvenika, kako s aspekta primarnog obrazovanja na visokim učilištima, tako i s aspekta cjeloživotnog usavršavanja. U okviru konferencije bio je organiziran i okrugli stol na temu obrazovanja stručnjaka u vodnom gospodarstvu.

Osim znanstvenika i stručnjaka iz Hrvatske, na petoj hrvatskoj konferenciji o vodama sudjelovali su i inozemni znanstvenici i stručnjaci, koji su iznosili iskustva iz svojih zemalja u prilagodbama klimatskim promjenama. Radovi objavljeni u Zborniku radova pisani

su na službenim jezicima konferencije, hrvatskom i engleskom jeziku. Nekoliko radova pisanih na bosanskom i srpskom jeziku objavljeno je u izvornicima i nisu prevođeni na hrvatski jezik.

Organizatori konferencije:
Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Hrvatsko biološko društvo, Hrvatsko društvo kemijskih inženjera, Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Hrvatsko društvo za velike brane, Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Hrvatsko ekološko društvo, Hrvatsko geografsko društvo, Hrvatsko geološko društvo, Hrvatsko hidrološko društvo, Hrvatsko ihtiološko društvo, Hrvatsko meteorološko društvo, Hrvatsko tloznanstveno društvo, Hrvatska udruga za sanitarno inženjerstvo.

Glavni tradicionalni suorganizator konferencije:
Hrvatske vode.

Visoki pokrovitelji konferencije:
- Predsjednik Republike Hrvatske gospodin Ivo Josipović,
- Predsjednica Vlade Republike Hrvatske gospođa Jadranka Kosor.

Pokrovitelj:
Primorsko-goranska županija

Počasni odbor konferencije:
- Ivan Jarnjak, predsjednik Nacionalnog vijeća za vode,
- Božidar Pankretić, potpredsjednik Vlade Republike Hrvatske i ministar regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva,
- Branko Bačić, ministar zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva,
- Zdravko Krmek, državni tajnik za vodno gospodarstvo,
- Nikola Ružinski, državni tajnik za zaštitu okoliša,
- Jadranko Husarić, generalni direktor Hrvatskih voda.

Znanstveno - stručni odbor konferencije:
Danko Biondić - predsjednik, Mara Artuković, Sanja Barbalić, Nenad Domijan, Anita Filipčić, Marjana Gajić - Čapka, Danko Holjević, Marko Josipović, Zlatica Kozarac, Grozdan Kušpilić, Ozren Larva, Nenad Leder, Davor Malus, Jure Margeta, Josip Marušić, Vladimir Mićović, Zlatko Mihaljević, Zoran Nakić, Nevenka Ožanić, Mladen Petričec, Anđelka Plenković - Moraj, Davor Romić, Josip Rupčić, Siniša Širac, Jasna Šoštarić, Lidija Tadić, Dušan Trninić, Elvira Vidović, Damir Viličić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić, Ranko Žugaj.

Organizacijski odbor konferencije:
Danko Holjević - predsjednik, Danko Biondić, Marko Ćorić, Gorana Ćosić - Flajsig, Gordan Gašparović, Stjepan Kamber, Elizabeta Kos, Željko Mažar, Ervino Mrak, Ivica Plišić, Zvonimir Sever.

Zbornik radova sadrži 121 rad izložen na 5. hrvatskoj konferenciji o vodama u oblicima usmenog izlaganja ili postera. Sve radove osim referata po pozivu recenzirali su članovi Znanstveno - stručnog odbora konferencije. Radovi su podijeljeni u referate po pozivu, te u četiri znanstveno - stručne teme.

Referati po pozivu:
4 rada, urednik Danko Biondić.

Tema 1.: Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - oborine, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more

65 radova, recenzenti: Mara Artuković, Sanja Barbalić, Nenad Domijan, Anita Filipčić, Marjana Gajić - Čapka, Marko Josipović, Zlatica Kozarac, Grozdan Kušpilić, Ozren Larva, Nenad Leder, Vladimir Mićović, Zlatko Mihaljević, Zoran Nakić, Nevenka Ožanić, Mladen Petričec, Anđelka Plenković - Moraj, Jasna Šoštarić, Lidija Tadić, Dušan Trninić, Elvira Vidović, Damir Viličić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić, Ranko Žugaj.

Tema 2.: Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti

23 rada, recenzenti: Danko Biondić, Danko Holjević, Marko Josipović, Nenad Leder, Josip Marušić, Mladen Petričec, Anđelka Plenković - Moraj, Davor Romić, Josip Rupčić, Jasna Šoštarić, Lidija Tadić, Ranko Žugaj.

Tema 3.: Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti

20 radova, recenzenti: Danko Biondić, Sanja Barbalić, Davor Malus, Jure Margeta, Zlatko Mihaljević, Siniša Širac, Elvira Vidović, Darija Vukić Lušić.

Tema 4.: Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti

9 radova, recenzenti: Danko Biondić, Sanja Barbalić, Nenad Leder, Davor Malus, Jure Margeta, Nevenka Ožanić, Siniša Širac, Ranko Žugaj.

Organizatori 5. hrvatske konferencije o vodama zahvaljuju Visokim pokroviteljima, članovima Počasnog odbora, glavnom tradicionalnom suorganizatoru, članovima Znanstveno - stručnog odbora, članovima Organizacijskog odbora, sponzorima, donatorima i svim ostalim sudionicima na njihovom doprinosu uspjehu konferencije.

Predsjednik Znanstveno - stručnog odbora 5. hrvatske konferencije o vodama

doc.dr.sc. Danko Biondić

REFERATI PO POZIVU

Urednik:
Danko Biondić

P 01.

VODNO GOSPODARSTVO PRED IZAZOVOM PROVEDBE VODNOG *ACQUISA*

Zdravko Krmek, Ružica Drmić

SAŽETAK: U radu je dan pregled aktivnosti vodnoga gospodarstva od stjecanja statusa kandidata Republike Hrvatske za pristupanje EU, preko donošenja Strategije upravljanja vodama, Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva, propisanih podzakonskih akata proisteklih iz oba Zakona, donesenih od stupanja na snagu oba zakona do kraja prvog kvartala 2011. i paralelnih aktivnosti pripreme i provedbe planova i projekata kojima se osigurava provedba vodnog acquisa. Usvojeni akti, uz stalnu pripremu i provedbu projekata i jačanje kapaciteta kako na nacionalnoj tako i na regionalnoj i lokalnoj razini, bili su preduvjet za okončanje pregovora i zatvaranje poglavlja 27. Okoliš, u kojem su vode jedna od glavnih sastavnica. Provedbom zacrtanih ciljeva vodno gospodarstvo planira dostići zahtjevne standarde zemalja članica EU.

KLJUČNE RIJEČI: vode, vodno gospodarstvo, strategija, direktive, zakon, pregovori, plan, projekti

WATER MANAGEMENT FACING THE CHALLENGE OF WATER *ACQUIS* IMPLEMENTATION

SUMMARY: The paper gives an overview of water management activities from the Republic of Croatia's achievement of candidate status for accession to the EU, through enactment of the Water Management Strategy, Water Act and Water Management Financing Act, proscribed by-laws derived from both Acts, which were enacted from coming into force of both Acts until the end of the first quarter of 2011 and parallel activities of preparation and implementation of plans and projects for ensuring the water acquis implementation. Adopted legislation, with continuing preparation and implementation of projects and capacity building both at the national and also on the regional and local levels were a precondition for finalisation of negotiations and closing of the Chapter 27 Environment, in which waters are one of the main components. By implementation of planned goals, water management intends to achieve demanding standards of EU member-states.

KEY WORDS: water, water management, strategy, directives, legislation, negotiations, plan, projects

1. UVOD

Hrvatsko vodno gospodarstvo, u svojoj respektabilnoj 135 godina dugoj tradiciji, uvijek je bilježilo značajne aktivnosti i, što se svakako mora naglasiti, držalo korak s drugim europskim državama i trendovima, razvijajući istovremeno svoje specifičnosti. Međutim, svaki djelatnik vodnoga gospodarstva, u bilo kojem njegovom segmentu, složit će se da aktivnosti nikad nisu bile tako intenzivne kao u posljednjih nekoliko godina, s tendencijom ubrzavanja.

Danas, kada se Republika Hrvatska nalazi pred završetkom pregovora za ulazak u Europsku uniju, možemo biti ponosni na ogroman posao koji je u protekle dvije godine obavilo vodno gospodarstvo, a koji je doveo i do privremenog zatvaranja poglavlja 27. Okoliš-vode.

2. VODNO GOSPODARSTVO OD STRATEGIJE UPRAVLJANJA VODAMA DO ULASKA U EU

Republika Hrvatska je morala preuzeti pravnu stečevinu, acquis communautaire Europske unije, između ostalog, i u području voda. Da bi do toga došlo, Hrvatski sabor je u srpnju 2008. donio Strategiju upravljanja vodama, dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju vizija, misija, ciljevi i zadaće državne politike u upravljanju vodama.

Konačni cilj Strategije upravljanja vodama je postizanje cjelovitog i usklađenog vodnog režima na državnom teritoriju i na svakom od dvaju vodnih područja, što uključuje:

- osiguranje dovoljnih količina kvalitetne pitke vode za vodoopskrbu stanovništva,
- osiguranje potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za različite gospodarske namjene,
- zaštitu ljudi i materijalnih dobara od poplava i drugih oblika štetnoga djelovanja voda,
- postizanje i očuvanje dobrog stanja voda zbog zaštite vodnih i o vodi ovisnih ekosustava.

Strateški cilj zaštite od poplava i drugih oblika štetnoga djelovanja voda jest dostizanje funkcionalnosti sustava zaštite od poplava na vodama I. i II. reda do razine od oko 87% do kraja 2023. godine i do 100% do kraja 2038. godine. Cilj će se ostvariti postupnom provedbom sanacijskih i rekonstrukcijskih radova, te realizacijom razvojnih projekata. Funkcionalni sustavi redovito će se gospodarski i tehnički održavati.

Strateški cilj razvoja javne vodoopskrbe jest povećanje mogućnosti opskrbe stanovništva vodom iz javnih vodoopskrbnih sustava sa sadašnjih 80% na 85-90 % do 2020. godine što je primjereno europskim standardima, a sukladno Direktivi o vodi za piće propisana kakvoća voda mora se uspostaviti na sustavima javne vodoopskrbe do kraja 2018.

Strateški cilj u području zaštite voda jest građenje, rekonstrukcija i sanacija sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda na 294 aglomeracije s opterećenjem većim od 2000 ES (u RH identificirano 763) čime će se do 2023. mogućnost priključenosti stanovništva na sustave javne odvodnje povećati s današnjih oko 44% na ukupno oko 60%.

Strateški cilj u području zaštite voda obuhvaća i područja od posebne zaštite voda:

- područja namijenjena za zahvaćanje vode za ljudsku uporabu,

- vode (područja) namijenjene uzgoju gospodarski važnih vodenih vrsta,
- vode namijenjene rekreaciji, uključujući i područja određena za kupanje,
- „ranjiva“ područja i „osjetljiva“ područja,
- područja namijenjena zaštiti staništa i vrsta (NATURA 2000),
- strateške rezerve podzemnih voda.

Ukupna površina navedenih područja relativno je velika i procjenjuje se na oko 47% državnoga kopnenog područja. Iako je postojeće stanje tih područja relativno povoljno, njihova adekvatna zaštita također zahtijeva znatna ulaganja.

Jedan od strateških ciljeva u području zaštite od štetnog djelovanja voda jest postizanje gospodarski opravdanog stupnja zaštite stanovništva, materijalnih dobara i ostalih poplavama ugroženih vrijednosti izgradnjom zaštitnih i regulacijskih vodnih građevina. Stoga je na temelju provedenih analiza postavljen cilj kojim se predviđa dostizanje funkcionalnosti sustava zaštite od poplava s današnjih 73% na vodama I. reda i 75% na vodama II. reda do razine 87% na vodama I. i II. reda do kraja 2023. godine.

S ciljem osiguranja uvjeta za optimalno korištenje prirodnih resursa tala i voda, Vlada Republike Hrvatske je još 2004. godine započela aktivnosti na izradi strateškog plana unaprjeđenja poljoprivrede primjenom navodnjavanja te je u studenom 2005. godine usvojila *Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatsko*j - NAPNAV.

Provedbom NAPNAV-a u razdoblju od 2005-2009. god. procjenjuje se da su površine pod navodnjavanjem povećane na cca 15.000 ha, što je povećanje od 60% u odnosu na podatke iz 2004. godine kada se navodnjavalo cca 9.000 ha.

Strateški cilj NAPNAV-a je uspostava sustava navodnjavanja na planiranih 65.000 ha poljoprivrednih površina do 2020. godine.

Usklađivanje s pravnom stečevinom EU u području voda:

Novi Zakon o vodama (NN 153/09) donesen je zbog potrebe usklađivanja propisa vodnoga gospodarstva s Okvirnom direktivom o vodama i ostalih 9 vodnih direktiva Europske unije i usklađivanja s odrednicama Strategije upravljanja vodama, uključivo i stratešku odrednicu o prelasku javne vodoopskrbe i javne odvodnje kao djelatnosti od interesa za jedinice lokalne samouprave na uslužnom području u obuhvat Zakona o vodama.

Mehanizmi za onemogućavanje privatizacije vodnih resursa:

Unatoč činjenici da u Hrvatskoj, kao zemlji bogatoj vodom, koja je po rezervama vode 5. u Europi te 42. u svijetu, količine vode ne predstavljaju ograničavajuće uvjete, vodno gospodarstvo neprestano skrbi o ovom nepretenciozno rečenom nacionalnom dragulju. S tim u vezi, ne samo da je osigurana zaštita voda radi održavanja ili postizanja dobrog stanja svih voda, već je Zakonom o vodama onemogućena privatizacija vodnih resursa u Republici Hrvatskoj.

Svakako treba naglasiti da je temelj članak 52. Ustava Republike Hrvatske prema kojem je voda, kao dobro od posebnog interesa za Republiku Hrvatsku i ima njezinu osobitu zaštitu.

Također treba podsjetiti na odrednicu Strategije upravljanja vodama, sukladno kojoj:

„Vodni resurs, ulaganja u razvoj vodnih sustava, kao i upravljanje vodnim sustavima treba tretirati kao prvorazredno pitanje nacionalnog suvereniteta i interesa, a vodu kao ljudsko pravo, opće dobro i nacionalno bogatstvo“.

Kroz Zakon o vodama, voda je zaštićena s više aspekata: u prvom redu, voda je zaštićena kroz institut općega dobra te ima osobitu zaštitu Republike Hrvatske. Vode u tijelima površinskih i podzemnih voda ne mogu biti objektom prava vlasništva i drugih stvarnih prava. Izvorišta vode za piće za javnu vodoopskrbu, osim što su i do sada bila zaštićena kao voda tj. opće dobro, sada se štite i kao realni prostor (ispod, iznad i okolo izvorišta koji je nužno potreban za njegovu sanitarnu zaštitu) kroz institut vodnoga dobra. Ako je zemljište na kojem se izvorište nalazi vodno dobro, tada je ono javno vodno dobro. Javno vodno dobro je javno dobro u općoj uporabi i u vlasništvu Republike Hrvatske i neotuđivo je. Bitno je naglasiti da na javnom vodnom dobru ne može neka druga osoba, dosjelošću niti na drugi način, steći pravo vlasništva niti drugo stvarno pravo.

Nadalje, pružanje usluge javne vodoopskrbe, kao i obavljanje javnih radova u djelatnosti javne vodoopskrbe se ne može dati u koncesiju. Komunalne vodne građevine su proglašene javnim dobrima u javnoj uporabi i ne mogu biti predmet hipoteka niti ovrhe, a u slučaju stečaja ili likvidacije isporučitelja vodne usluge izlučuju se u vlasništvo grada odnosno općine. Komunalne vodne građevine mogu biti u prometu samo između javnog isporučitelja vodne usluge i jedinice lokalne samouprave.

Javni isporučitelj vodne usluge više ne može obavljati drugih djelatnosti, osim javne vodoopskrbe i javne odvodnje, a može biti samo u vlasništvu grada odnosno općine, a iznimno i u vlasništvu županije, ako obavlja javnu vodoopskrbu prema drugom isporučitelju (tzv. regionalna vodoopskrba).

Zakonom o vodama je također propisano da ukoliko treća osoba stekne poslovni udio, dionice ili osnivačka prava u javnom isporučitelju vodnih usluga ili ako javni isporučitelj vodne usluge obavlja ili je u sudskom registru registriran za obavljanje drugih djelatnosti osim javne vodoopskrbe, javne odvodnje i oborinske odvodnje prestaje mu pravni status javnoga isporučitelja vodnih usluga i pravo obavljanja djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje.

Uzevši u obzir sve navedeno, evidentno je da su sve pukotine za eventualni prodor privatnoga kapitala prema zalihama vode zatvorene.

Zabrana eksploatacije mineralnih sirovina u području značajnom za vodni režim:

Budući da obnovljive količine pijeska i šljunka u koritima glavnine rijeka u Republici Hrvatskoj već dulje razdoblje ne postoje iz razloga pregrađivanja tih rijeka (Drava, Sava u gornjim tokovima i dr.), nestao je vučeni nanos, pa nema ni eksploatacije šljunka i pijeska iz obnovljivih ležišta značajnih za vodni režim. Praksa razvijenih europskih država je da se korita rijeka restauriraju, a ne da se vrši eksploatacija šljunka i pijeska. Potrebne količine tog materijala za građevinarstvo osiguravaju se u tim zemljama iskopom neobnovljivih mineralnih sirovina (zemlja, šljunak, pijesak i kamen) na kopnenim lokalitetima ili kamenolomima koji se nakon završene eksploatacije uređuju u objekte sporta, rekreacije i turizma. Prednost ovakvog načina osiguravanja materijala, pogotovo za izgradnju velikih infrastrukturnih objekata, leži u mogućnosti otvaranja eksploatacijskih polja u neposrednoj blizini gradilišta istih što smanjuje troškove transporta, a s druge strane onemogućuje

se daljnja devastacija riječnih korita i ugrožavanje stabilnosti i funkcionalnosti zaštitnih i regulacijskih vodnih građevina koje su temelj sustava obrane od poplava.

Sukladno novom Zakonu količine iskopanog materijala kod održavanja naših rijeka i osiguravanja plovnosti na unutarnjim plovnim putovima, sa ciljem ublažavanja posljedica erozije dna i obala, koriste se prvenstveno za razmještanje unutar vodotoka ili kanala, bez vađenja na obale, uz provođenje kontrole i nadzora državne vodopravne inspekcije, rudarske inspekcije i Hrvatskih voda. Količine koje preostanu nakon razmještanja mogu biti ugrađene u zaštitne i regulacijske vodne građevine, a možebitni višak materijala prodaje se na tržištu putem javnog nadmetanja, a sve temeljem pojedinačnih odluka Vlade Republike Hrvatske. Iz rečenih razloga Zakon ne predviđa dodjelu koncesija za eksploataciju šljunka i pijeska iz obnovljivih i neobnovljivih ležišta u području značajnom za vodni režim, tj. zabranjena je eksploatacija mineralnih sirovina.

Integralno upravljanje vodama:

Opći i pojedinačni ciljevi upravljanja vodama ostvaruju se integralnim upravljanjem vodama primjenom pojedinačnih odredbi Zakona u skladu s načelima upravljanja vodama iz Zakona o vodama.

Glavni instrumenti integralnog upravljanja vodama su:

U upravljanju vodama:

- Uspostavlja se jedinstvo planiranja kao osnove ekološki senzibilnog i socio-ekonomski prihvatljivog integralnog upravljanja vodama putem jednoga Plana upravljanja vodnim područjima, koji sadržava sve potrebne sastavnice po 2 vodna područja u Republici Hrvatskoj. Plan upravljanja vodnim područjima sadrži dva jasno definirana dijela: jadranski i dunavski, čime jer postignuta regionalizacija koja prati hidrografsku podjelu: planiranje i upravljanje respektira prirodne, ali i socio-ekonomske razlike područja, a ujedno omogućava primjenu načela solidarnosti, prava na jednake uvjete razvoja i upravljanja vodama.
- Svi planski i strateški dokumenti prema ovom Zakonu usklađuju se sa planskim dokumentima drugih sektora (priroda, okoliš, rudarstvo, promet, poljoprivreda, ribarstvo i drugi) kao i sa drugim dionicima (udruge, gradovi, općine, gospodarski subjekti). Na taj način se postupak planiranja značajno demokratizira. Planiranje se ne zadržava samo u granicama državnih subjekata već se osigurava sudjelovanje velikog broja subjekata (dionika voda i javnosti) u planiranju, uvažavajući obvezu njihova informiranja o tijeku pripreme Plana i obvezu savjetovanja s njima tijekom izrade Plana putem Savjeta vodnoga područja koji se saziva za svako vodno područje i čine ga predstavnici jedne ili više jedinica područne (regionalne) samouprave, jedinica lokalne samouprave, korisnika voda i nevladinih udruga.
- Ostvaruje se jedinstvo vodnog sustava kroz odredbe o jedinstvu upravljanja površinskim i podzemnim vodama, te kroz obveze određivanja standarda kakvoće površinskih i podzemnih voda, priobalnih voda u pogledu njihovoga kemijskog i ekološkog stanja, voda teritorijalnoga mora u pogledu njihovoga kemijskoga stanja.
- Uvodi se načelo suradnje i razmjene informacija o prekograničnim utjecajima na međunarodnim vodnim područjima.

U zaštiti voda od onečišćenja:

- Uspostavlja se novi sustav ocjenjivanja stvarnoga stanja voda, kroz ocjenu ekološke funkcije vodotoka odnosno stanja vodnih i o vodi ovisnih eko-sustava uz provedbu cjelovitog monitoringa svih voda.
- Ojačava se sustav zaštite od onečišćenja kroz uspostavu područja posebne zaštite i uspostavu posebnoga režima u tim područjima tj. osjetljivih područja i ranjivih područja, područja voda pogodnih za uzgoj slatkovodnih riba i područja voda pogodnih za uzgoj školjkaša.
- Načela „Onečišćivač je dužan brinuti se o svojim otpadnim vodama“, „Onečišćivač plaća“ i „Kombinirani pristup“ provode se u cilju održive, društveno- funkcionalne i aktivne zaštite voda, (ekološki i društveno poželjne, a financijski prihvatljive), umjesto dosadašnje restriktivne zaštite voda.

U postizanju održivosti upravljanja u vodnokomunalnom sektoru:

- Uređuje se pravna mogućnost uspostave uslužnih područja kao područja tehničko-tehnološke cjeline sustava i pravnoga okvira za donošenje jedinstvenih odluka od značaja za pružanje vodnih usluga, na tom području ili na njegovim dijelovima tj. vodoopskrbnim područjima i područjima aglomeracija.
- Jačaju specijalističke funkcije isporučitelja vodnih usluga, kroz zabranu obavljanja komercijalnih djelatnosti i kroz zabranu obavljanja djelatnosti javne vodoopskrbe putem pogona jedinica lokalne samouprave.

Vijeće za vodne usluge:

Radi osiguranja zakonitosti u području određivanja cijene vodnih usluga, naknade za razvoj i naknade za priključenje Hrvatski sabor je sredinom srpnja 2010. imenovao članove Vijeća za vodne usluge osnovanog Zakonom o vodama kao neovisnog regulatora vodnih usluga. Vijeće za vodne usluge je odmah otpočelo s radom te je njegova uloga prepoznata u široj javnosti, kako domaćoj, tako i međunarodnoj. Posebno se to odnosi na područje cijena vodnih usluga i primjenu Zakonom o vodama propisanih načela sukladno kojima se vodne usluge pružaju pod nediskriminacijskim uvjetima i socijalno prihvatljivim uvjetima, a djelatnosti javne vodoopskrbe i odvodnje obavljaju se učinkovito, ekonomično i svrhovito i tako da se osigura njihov održivi razvitak i stalno povećanje kakvoće vodnih usluga. Prilikom određivanja cijena vodnih usluga treba poštivati načelo punog povrata troškova, socijalne prihvatljivosti i zaštite od monopola. Imajući u vidu složenost i različitost uvjeta između pojedinih isporučitelja vodnih usluga, izvjesno je da isporučiteljima u postizanju propisanih standarda i uvjeta predstoje veliki izazovi, a time i Vijeću za vodne usluge od kojeg se očekuje da pri ocjeni zakonitosti donesenih odluka obustave od provedbe protuzakonite odluke.

Financiranje vodnoga gospodarstva:

Donošenje Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva, bilo je neophodno provesti zajedno sa Zakonom o vodama jer se za provedbu aktivnosti vodnoga gospodarstva njime osiguravaju dostatna sredstva osobito za mjere zaštite voda.obzirom u cilju postizanja dobrog stanja svih voda na vodnim područjima.

Novim Zakonom o financiranju vodnoga gospodarstva zadržane su sve postojeće vodne naknade osim naknade za vađenje šljunka i pijeska, ali su im djelomično dopunjene namjene i djelomično promijenjen način obračuna te su preuzete i naknade iz Zakona o komunalnom gospodarstvu i to: naknada za razvoj i naknada za priključenje sukladno preuzimanju djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje u nadležnost vodnoga gospodarstva.

Podzakonski akti:

Za punu usklađenost vodnoga gospodarstva s direktivama EU na području vodnoga gospodarstva i za osiguranje provedbe usvojenih zakona doneseno je 46 podzakonskih akata, što je u kratkom roku od 15 mjeseci bio veliki izazov i zadatak, kojega je vodno gospodarstvo uspješno izvršilo. Po prvi puta u rokovima propisanim zakonom doneseni su i propisani podzakonski akti i na taj način omogućena je provedba usvojenih zakona.

Na temelju odredbi Zakona o vodama (NN 153/09) i Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva (NN 153/09) predviđeno je donošenje 50 podzakonskih akata.

Od ukupnog broja previđenih akta za donošenje do kraja 2010. godine planirano je 48. Objavljena su 44 podzakonska akta.

Vrsta akta	Ministar	Vlada
Odluke	2	5
Državni planovi		2
Uredba		9
Pravilnik	25	
Popis	1	
Ukupno	28	16

Prema vrstama akata:

Pri tome treba naglasiti da je donošenje navedenih podzakonskih propisa bilo dio mjera Programa gospodarskog oporavka Republike Hrvatske Vlade Republike Hrvatske.

Program je imao za svrhu vratiti gospodarstvo RH na putanju održivog rasta, sveobuhvatnim i konzistentnim programom mjera i aktivnosti s kratkoročnim, srednjoročnim i dugoročnim učincima. U okviru mjera Programa gospodarskog oporavka vodno gospodarstvo je donošenjem navedenih propisa, osobito smanjenjem vodnog doprinosa za 25% dalo značajan doprinos Vladinim mjerama s ciljem oporavka hrvatskog gospodarstva, a uvođenjem korekcijskih koeficijenata za obračun vodnoga doprinosa iskazana je socijalna osjetljivost (HRVI, branitelji) i uvažavanje specifičnosti pojedinih grana gospodarstva (poljoprivreda, vinogradarstvo i gospodarstvo općenito).

Sudjelovanje javnosti u donošenju planskih dokumenata i zakona:

Svakako treba naglasiti da je tijekom izrade nacrta Strategije, a posebno zakona, provedena rasprava sa širokim krugom dionika, što je pridonijelo kvaliteti ovih akata, a suradnja sa dionicima je nastavljena i tijekom izrade navedenih podzakonskih akata. Na ovaj način hrvatsko vodno gospodarstvo je postavilo dobar temelj za dijalog sa svim dionicima sukladno članku 14. Okvirne direktive o vodama, kojim je propisana obveza informiranja i konzultiranja javnosti, odnosno aktivnog uključivanja svih zainteresiranih strana u iz-

radu, revidiranje i dopunjavanje planova upravljanja riječnim slivovima, o čemu će više riječi biti kasnije.

Pregovori:

Svakako treba istaknuti da je u okviru aktivnosti za završetak pregovora u Poglavlju 27. Okoliš, osim donošenja niza podzakonskih akata kojima se hrvatsko vodno zakonodavstvo uskladilo sa relevantnim EU direktivama, izrađen i Plan provedbe vodnokomunalnih direktiva.

Naime, osiguranje dovoljnih zaliha čiste vode za sadašnje, ali i buduće generacije je neupitan strateški cilj Republike Hrvatske i u tom smislu Vlada RH ulaže doista značajna financijska sredstva u cilju osiguranja stanovnika pitkom, zdravstveno ispravnom vodom te odgovarajućim sustavima za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda radi zaštite od onečišćenja voda i vodnog okoliša.

U Pregovaračkom stajalištu RH je zatražila prijelazna razdoblja za dvije najzahtjevnije direktive, kako tehnički tako još više financijski:

- Direktiva o vodi za piće 2018. (n+6) (+3)
- Direktiva o komunalnim otpadnim vodama 2023. (n+12)

Nacrt Plana provedbe vodnokomunalnih direktiva obuhvaća plan provedbe Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda i plan provedbe Direktive o vodi za piće, a izrađeni su zajedno jer se isti moraju provesti u odnosu na vodne usluge i cijene vodnih usluga koje obuhvaćaju troškove javne vodoopskrbe i javne odvodnje.

Osnovni pokazatelji iz Plana provedbe vodno komunalnih direktiva:

Direktiva o komunalnim otpadnim vodama

- Ukupna vrijednost ulaganja: 3,2 milijarde eura (23,2 milijardi kuna)
- Izgradnja sustava odvodnje i pročišćavanja na 294 aglomeracije s opterećenjem većim od 2000 ES (u RH identificirano 763).

Direktiva o vodi za piće

- Ukupna vrijednost ulaganja: 1,3 milijardi eura (9,8 milijardi kuna).
- Izgradnja objekata u identificiranih 68 vodoopskrbnih zona radi postizanja zahtijevane kakvoće vode u pogledu mikrobioloških i kemijskih pokazatelja, osobito povezivanjem malih lokalnih sustava vodoopskrbe koji ne udovoljavaju zahtijevanoj kakvoći (463 sustava s više od 50 potrošača koji nisu spojeni na javne sustave vodoopskrbe), kao i na dijelovima javnih sustava koji ne udovoljavaju zahtijevanoj kakvoći.

Za provedbe zahtjeva obje navedene direktive putem Plana provedbe vodnokomunalnih direktiva potrebno je uložiti značajna financijska sredstva koja se procjenjuju na 4,5 milijarde eura (33,0 milijarde kn).

Za osiguranje razvoja i ulaganja sukladno zahtjevima vodnokomunalnih direktiva Republika Hrvatska računa na potporu EU fondova. Kad postane članica, samo za ulaganja u vodni sektor iz Kohezijskog fonda u financijskom razdoblju prve dvije godine od ulaska Republike Hrvatske u EU, RH će imati na raspolaganju 165 milijuna eura godišnje, što će iznositi 60-75% ukupnih ulaganja, a u kasnijim razdobljima i više. Preostali iznos mora

se nacionalno osigurati iz državnog proračuna i proračuna jedinica lokalne i regionalne samouprave, vodnih naknada (naknade za korištenje voda i naknade za zaštitu voda) te razvojnih naknada (naknade za razvoj i naknade za priključenje) i ostalih izvora (krediti iz nacionalnih i međunarodnih izvora).

Odmah po izgradnji i puštanju sustava u pogon iz cijene vode mora se osigurati odgovarajuće upravljanje i održavanje izgrađenih sustava što znači znatno veće troškove u odnosu na postojeće što će sigurno uzrokovati povišenje cijena vodnih usluga.

Za ostvarenje uspješne provedbe vodnokomunalnih direktiva potrebno je osigurati i učinkovitu reformu vodnokomunalnog sektora koja podrazumijeva:

- uspostavu uslužnih područja sukladno zakonu– područja jedne ili više aglomeracija i jednog ili više vodoopskrbnih sustava na kojima će se usluge javne vodoopskrbe i odvodnje odvijati,
- vodnokomunalna djelatnost se mora odvijati putem tzv. regionalnih operatera registriranih isključivo za djelatnosti vodoopskrbe i odvodnje s godišnjom isporukom više od 2 milijuna m^3 vode,
- poštivanje načela punog povrata troškova vodnih usluga.

Izvori sredstava za navedena ulaganja su prvenstveno Državni proračun, izvorna sredstva Hrvatskih voda, sredstva proračuna JLP(R)S, krediti domaćih i stranih banaka, sredstva EU i drugih donacija.

Plan upravljanja vodnim područjima:

Nadalje, uvažavajući načelo održivog razvoja i princip integralnog upravljanja vodama, Okvirna direktiva o vodama predviđa izradu Plana upravljanja vodnim područjem, kao mehanizma pomoću kojeg se trebaju ostvariti kriteriji zacrtani ovom Direktivom te krajnji cilj: dobro stanje svih voda.

Sukladno tehničkim konzultacijama i zatvaranju poglavlja 27. Okoliš-vode, Vlada Republike Hrvatske je početkom prosinca 2010. sukladno Akcijskom planu pripreme io donošenja Plana usvojila Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima. U ožujku 2011. Nacrt Plana je objavljen na web stranici Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva s linkom na Hrvatske vode i započet je proces informiranja i konzultiranja sa svim dionicima voda: tijelima središnje, regionalne i lokalne vlasti, institucijama, korisnicima voda, nevladinim organizacijama i širom javnosti općenito. Kao mehanizam koji će osigurati adekvatnu zastupljenost svih dionika, Zakonom o vodama je predviđeno osnivanje Savjeta vodnih područja. Tako će uskoro otpočeti s radom 2 savjeta, po jedan za svako vodno područje. Javna rasprava će trajati šest mjeseci, nakon čega slijedi završetak Plana te njegovo usvajanje do kraja 2011. godine.

Strateški projekti Vlade RH - projekti vodnoga gospodarstva

Zatvaranjem poglavlja Okoliš te pripremom za zatvaranje poglavlja Regionalni razvoj Hrvatskoj se otvaraju značajna ulaganja u infrastrukturu što je veliki izazov koji Vlada Republike Hrvatske vidi i kao šansu za oporavak hrvatskog gospodarstva. S tim u vezi u cilju osiguranja preduvjeta za razvoj gospodarstva u okviru provedbe mjera iz Programa gospodarskog oporavka, Vlada Republike Hrvatske je identificirala 31 infrastrukturni

projekt od nacionalnog interesa ukupne vrijednosti 14 milijardi eura u okviru kojih su 4 projekta vodnoga gospodarstva ukupne vrijednosti preko 5,6 milijardi EUR-a:

1. Projekti izgradnje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda (3,2 milijarde EUR-a)
2. Projekti navodnjavanja (21 lokacija – 178 mil. EUR-a)
3. Višenamjenski kanal Dunav-Sava (investicija 950 mil. EUR),
4. Projekti izgradnje vodoopskrbnih sustava u 68 vodoopskrbnih zona (investicija 1,3 milijarde EUR-a).

Infrastrukturni projekti vodnoga gospodarstva koji se odnose na odvodnju otpadnih voda i vodoopskrbu bit će dijelom implementirani provedbom Odluke Vlade RH iz 2010. godine o izdavanju jamstva za zaduženje Hrvatskih voda za kapitalna ulaganja u projekte vodnoga gospodarstva kojom su osigurana financijska sredstva u iznosu 1,03 milijarde kuna, a za provedbu su nadležne Hrvatske vode. Osiguranim sredstvima pokrenuto je 305 manjih projekata kako na sustavima javne vodoopskrbe i odvodnje tako i na sustavima obrane od poplava. Realizacija ovih projekata započeta je u 2010. godini, a završetak radova se očekuje krajem 2011. godine. Provedbom ovih projekata znatno će se povećati efekti redovnih ulaganja vodnoga gospodarstva te će razina ukupnih ulaganja u 2011. godini doseći 3 milijarde kuna što je 25% više u odnosu na 2010,. godinu. Provedbom projekata vodoopskrbe i odvodnje otpadnih voda u gradovima i općinama obuhvaćenima ovim ulaganjima uz povećanje opskrbljenosti vodom i priključenosti na sustave odvodnje i pročišćavanja osiguravaju se preduvjeti za razvoj gospodarstva a doprinosi se i postizanju ciljeva vodnokomunalnih direktiva.

Dunavska strategija i Akcijski plan za dunavsku regiju

S ciljem razvoja velikog ekonomskog potencijala područja oko rijeke Dunav, Europska komisija je u krajem 2010. godine predstavila Strategiju za Dunavsku regiju koja obuhvaća osam zemalja članica EU-a i šest ostalih europskih zemalja, uključujući i Hrvatsku te obuhvaća područje na kojem živi 115 milijuna stanovnika.

Strategija predstavlja okvir koji će stvoriti uvjete za bolju koordinaciju i suradnju zemalja dunavske regije po pitanjima od zajedničkog značaja, kao što su zaštita okoliša, prometno povezivanje, razvoj turizma, energetska suradnja, ili sigurnost i fokus stavlja na konkretne aktivnosti u prioritetnim područjima kao što je, između ostalog i kvaliteta voda.

Zemlje i regije će putem koordinatora za prioritetna područja upravljati provedbom Strategije, predlagati program rada i identificirati moguće izvore financiranja u suradnji s drugim zemljama sudionicama i partnerima poput nevladinih organizacija. Identificirano je ukupno jedanaest prioritetnih područja. Cilj Strategije je postići čvrstu suradnju među zemljama i poboljšati optimalno korištenje i dostupnost svih EU fondova, bez potrebe osiguravanja novih sredstava, uvođenja novih pravila ili stvaranja novih institucija.

Očekuje se da će se Dunavska makro-regija formirati u lipnju ove godine, potkraj mađarskog predsjedanja Vijećem Europske unije.

Republika Hrvatska iskazala je punu političku podršku ovom procesu, uključena je u proces izrade Dunavske strategije od početka te je aktivno sudjelovala u izradi Akcijskog plana čijom provedbom je predviđen razvoj infrastrukture, gospodarstva, turizma, zaštita

okoliša, a time i voda kao i zaštita bioraznolikosti, s ciljem razvoja Dunavske regije bez novih zakonodavnih oblika, novih fondova i novih institucija.

Provedba projekata:

Radi ispunjenja strateških ciljeva vodnoga gospodarstva kontinuirano se provode ulaganja iz nacionalnih sredstava u:

- obnovu i razvoj sustava vodoopskrbe,
- razvoj sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda,
- projekte zaštite od štetnog djelovanja voda,
- projekte navodnjavanja.

Za potrebe realizacije gore navedenih ulaganja, a sukladno zaključcima Vlade Republike Hrvatske, sklopljen je niz sporazuma za sufinanciranje projekata izgradnje sustava vodoopskrbe, odvodnje kao i sustava navodnjavanja na području Republike Hrvatske.

Uz nacionalna sredstva za izgradnju vodoopskrbnih sustava i sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda već se koriste predpristupni fondovi (ISPA, IPA III b- zaštita okoliša, u okviru koje se nalazi i sektor voda), a ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju bit će nam na raspolaganju višestruko veća sredstva iz strukturnih instrumenata (Kohezijski fond).

Korištenje sredstava predpristupnih fondova**:**

Kroz ISPA fond provodi se prvi infrastrukturni projekt Karlovac ukupne vrijednosti 36 milijuna eura (22,5 milijuna eura - EU sredstva, 3,5 milijuna eura iz Državnog proračuna, te 10 milijuna eura zajma EBRD-a). Za izgrađeni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda uskoro se očekuje probni rad. Paralelno sa izgradnjom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda vrše se i radovi na vodoopskrbnoj i kanalizacijskoj mreži.

Unutar IPA III B komponente - Operativnog programa Okoliš, u sektoru voda u tijeku je realizacija projekata Slavonski Brod, Knin i Drniš, a uskoro se očekuje i odobrenje financiranja projekta Sisak. Ukupna potrebna sredstva za realizaciju ovih projekata iznose: 85 milijuna eura, od čega su 47 milijuna eura bespovratna EU sredstva pretpristupnog fonda IPA.

Provedba projekata kreditima Svjetske banke**:**

- Projekt zaštite od onečišćenja na priobalnom području

Nakon uspješne realizacije prve faze Projekta zaštite od onečišćenja na priobalnom području - projekta Jadran ukupne vrijednosti 80 mil. eura (40 milijuna eura zajam i 40 milijuna eura nacionalna sredstva) u 11 jedinica lokalne samouprave (Rijeka, Opatija, Pula, Novigrad, Zadar, Biogradska rivijera, Rogoznica, Omiš, Dugi Rat, Makarska, Opuzen), započeta je i realizacija II faze Jadran projekta ukupne vrijednosti 120 milijuna eura (60 milijuna eura zajam i 60 milijuna eura nacionalna sredstva). Potpisano je 18 Ugovora o pod-zajmu (Cres, Rab, Mali Lošinj, Rijeka-Grobnik, Opatija, Metković, NP Mljet, Hvar, Murter-Betina, Sukošan-Bibinje, Novigrad, Vela Luka, Zadar, Pula, Dugi Rat, Krk, Omišalj, Malinska-Njivice), a u fazi priprema su još tri (Dubrovnik, Medulin, Kaštelir), čime bi u potpunosti bio zadan okvir realizacije II faze Projekta Jadran. Kroz

navedeni projekt unaprijediti će se infrastruktura odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, unaprijediti kapacitet komunalnih poduzeća, te unaprijediti sustav monitoringa mora.

Zajam prati Darovnica Globalnog fonda za okoliš. Za potrebe financiranja izrade neophodnih studija izvodivosti i studija utjecaja na okoliš te ostale studijske dokumentacije potrebne u okviru realizacije druge faze Projekta, predviđeno je ukupno 3,4 milijuna eura sredstava Darovnice.

- Unutarnje vode

Ukupna vrijednost projekta je 105,3 milijuna eura (100 milijuna eura zajam i 5,3 milijuna eura sredstva vodnih naknada) kroz koji će se unaprijediti sustavi vodoopskrbe, odvodnje otpadnih voda, te obrane od poplava u kopnenom dijelu Republike Hrvatske.

Projekt putem komponente tehničke pomoći (5 milijuna eura) osigurava potporu pristupu Europskoj uniji, potporu provedbi Projekta i institucionalno jačanje komunalnih poduzeća, a putem komponente ulaganja (100,3 milijuna eura) postiže ciljeve na vodoopskrbnim sustavima i aglomeracijama obuhvaćenim projektom kao i provedbu mjera obrane od poplava u slivovima rijeka Save i Drave.

Priprema projekata i jačanje kapaciteta za Strukturne fondove:

Uz provedbu projekata iz nacionalnih i međunarodnih izvora vodno gospodarstvo se intenzivno priprema za višestruko veća sredstva EU jednom kada RH postane članica EU.

Naime, vodno gospodarstvo je prepoznalo potrebu izrade većeg broja kvalitetnih projekata kako bi trenutkom ulaska Hrvatske u EU imali dovoljan broj projekata vodoopskrbe i odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda spremnih za realizaciju.

U tijeku je priprema 39 projekata s indikativne liste Operativnog programa zaštite okoliša i energetike za razdoblje prve dvije godine od ulaska u EU, u ukupnom procijenjenom iznosu oko 900 milijuna eura, od čega je 7 projekata vodoopskrbe (regionalni vodoopskrbni sustavi), dok su ostalih 32 projekta, projekti zaštite voda koji također mogu imati i komponentu vodoopskrbe, ali na razini grada, odnosno postojećeg sustava.

Hrvatske vode, osigurale su Planom upravljanja vodama za 2010. i 2011. godinu 100% financiranje izrade potrebne projektne i studijske dokumentacije. Ukupna vrijednost pripreme sve potrebne dokumentacije iznosi 223 milijuna kuna (83 milijuna kuna u 2010. godini i 140 milijuna u 2011.), a uključuje pripremu projektnih aplikacija sa pripadajućom studijskom dokumentacijom i pripremu projektne dokumentacije sukladno nacionalnim propisima.

Osim preuzimanja pravne stečevine u području voda, za uspješnu provedbu vodnih direktiva, osobito vodnokomunalnih direktiva, čija je provedba usko vezana uz provedbu projekata, potrebno je osigurati i odgovarajuće kapacitete. Naime, za uspješno korištenje EU fondova od iznimne je važnosti uspostava odgovarajuće organizacijske strukture s osiguranjem potrebnih kapaciteta što znači odgovarajući broj stručnih djelatnika odgovarajućeg iskustva u pripremi i provedbi projekata.

Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva kao linijsko ministarstvo zaduženo za sektor voda u okviru Operativnog programa za okoliš i Hrvatske vode kao provedbeno tijelo uspostavili su odgovarajuće strukture te uspješno obavili postupak akreditacije za korištenje predpristupnih fondova.

U sljedećem razdoblju uz daljnje jačanje uspostavljenih kapaciteta nužno je uspostaviti strukture i ojačati kapacitete na lokalnoj razini za buduće provođenje projekata iz strukturnih instrumenata.

Pitanje klimatskih promjena i mjere prilagodbe:

U provedbi održivog upravljanja vodama ne može se zaobići pitanje klimatskih promjena i mjera prilagodbe kojima vodno gospodarstvo ublažava već evidentne posljedice pojave evidentnih ekstrema.

Republika Hrvatska podržava potrebu sagledavanja učinaka klimatskih promjena, radi uočavanja i poduzimanja određenih mjera koje su potrebne za adaptaciju na te promjene. U posljednje vrijeme svjedoci smo ekstrema poput suša s jedne, odnosno poplava s druge strane, s ozbiljnim materijalnim posljedicama za nacionalna gospodarstva. Hrvatsko vodno gospodarstvo je ponosno na činjenicu da je uspješno provodilo mjere obrane od poplava te da su poplave koje su ostatku Europe 2002., 2006. i 2010. godine zadale velike brige, u Hrvatskoj su prošle bez velikih materijalnih posljedica, no ipak, to je evidentan primjer određenih promjena. Vezano uz smanjivanje rizika od poplava, a zbog stalnog rasta evidentnih ekstrema, Republika Hrvatska stalno radi i ulaže značajna financijska sredstva kako u dogradnju novih, tako i redovito održavanje postojećih objekata obrane od poplava. S druge strane, u borbi protiv suša, kao što je već ranije navedeno, Vlada Republike Hrvatske je 2005. godine pokrenula Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj (NAP NAV), čijom provedbom će se do 2020. godine osigurati poljoprivrednom sektoru navodnjavanje na površini od 65 000 ha.

Unatoč sve većim postignućima moderne civilizacije i primjeni sve savršenijih tehnologija u posljednje vrijeme svjedočimo sve učestalijoj pojavi prirodnih nepogoda i sve većoj nemoći čovjeka uslijed potresa, tsunamija, požara, poplava, u kojima su doslovno izbrisani gradovi i naselja. U Hrvatskoj su poplave u protekloj godini ostavile značajnu materijalnu štetu, no srećom nije bilo ljudskih žrtava. Treba naglasiti da se radilo o nezapamćenim visinama vodostaja koji su prelazili stogodišnje prosjeke, što zasigurno ukazuje na utjecaj klimatskih promjena i nalaže odgovarajuće mjere adaptacije, ali i pripreme za moguće slične događaje u budućnosti.

Upravo vodeći računa o ovoj činjenici, nakon poplava u rujnu i prosincu 2010. koje su pogodile područje Zagrebačke, Sisačko-moslavačke, Dubrovačko-neretvanske i Karlovačke županije, Vlada Republike Hrvatske je donijela odluke o građenju u slučaju neposredne opasnosti za područja navedenih županija, kako bi se spriječile odnosno umanjile štete od budućih poplavnih događaja te se hitno pristupilo gradnji istih.

Ovdje svakako treba istaknuti i rezultate dobre međunarodne suradnje sa susjednim državama: naime, nakon poplava u svibnju i lipnju 2010., Republika Hrvatska je zajedno s Republikom Mađarskom prijavila nastale štete Fondu solidarnosti EU te zatražila novčanu pomoć za saniranje šteta od poplava koju su istovremeno pogodile dvije države te je od strane EU za obnovu infrastrukturnih objekata odobrena pomoć u iznosu 3,8 milijuna eura. Također, Hrvatska je zajedno sa susjednom Slovenijom prijavila štetu od poplava iz rujna 2010. te je Hrvatskoj za obnovu infrastrukturnih objekata odobren iznos od 1,17 milijuna eura iz Fonda solidarnosti EU.

U ovom trenutku vodno gospodarstvo poseže za mjerama koje se prirodno nameću zbog očitih pojava ekstrema, no pitanja radi li se doista o klimatskim promjenama te koji su njihovi stvarni uzroci, koje posljedice uzrokuju ti fenomeni i koje su to zapravo odgovarajuće mjere prilagodbe, područje je koje vodno gospodarstvo tek treba istražiti radi pravodobnog i učinkovitog poduzimanja mjera.

ZAKLJUČAK

Provedba oba Zakona odnosno uvođenje standarda propisanih direktivama EU u području upravljanja vodama stavlja pred institucije vodnoga gospodarstva brojne izazove u smislu provedbe novih zahtjeva, osobito Okvirne direktive o vodama, Direktive o komunalnim otpadnim vodama i Direktive o vodi za piće.

Međutim, uvažavajući bogatu tradiciju i iskustvo djelatnika vodnoga gospodarstva uz praćenje novih tehnologija i saznanja i kontinuirano usavršavanje i poticanje dobre suradnje i razmjene informacija s ostalim resorima i institucijama na nacionalnom planu i nastavka dobre vodnogospodarske suradnje kako sa zemljama u okruženju tako i u širem međunarodnom kontekstu, jamstvo su postizanja zacrtanih strateških ciljeva. Skorim pristupom Europskoj uniji očekujemo dodatnu podršku i višestruko veću financijsku pomoć za ostvarenje visokih standarda koje članstvo zahtjeva.

LITERATURA

[1] Strategija upravljanja vodama („Narodne novine“ broj 91/08.),

[2] Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EZ,

[3] Direktiva 2006/118/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 12. prosinca 2006. o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće,

[4] Direktiva 2007/60/EC Europskoga parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima,

[5] Direktiva Vijeća od 21. svibnja 1991. o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda 91/271/EEZ (Direktiva o komunalnim otpadnim vodama),

[6] Direktiva 91/676/EEZ Vijeća od 12. prosinca 1991. o zaštiti voda od onečišćenja koje uzrokuju nitrati poljoprivrednog podrijetla,

[7] Direktiva 2006/11/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 15. veljače 2006. o onečišćenju određenim opasnim tvarima koje se ispuštaju u vodni okoliš Zajednice (Direktiva o opasnim tvarima),

[8] Direktiva Vijeća 98/83/EZ od 3. studenoga 1998. o kakvoći vode namijenjenoj za ljudsku potrošnju (Direktiva o vodi za piće),

[9] Direktiva 2006/7/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 15. veljače 2006. o upravljanju kakvoćom vode za kupanje i ukidanju Direktive 76/160/EEZ,

[10] Direktiva 2006/44/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 6. rujna 2006. o kakvoći slatkih voda kojima je potrebna zaštita ili poboljšanje kako bi bile pogodne za život riba,

[11] Direktiva 2006/113/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 12. prosinca 2006. o potrebnoj kakvoći vode za školjkaše,

[12] Zakon o vodama („Narodne novine“ broj 153/09.),

[13] Zakon o financiranju vodnoga gospodarstva („Narodne novine“ broj 153/09.),

[14] Katalog investicijskih projekata od interesa za Republiku Hrvatsku u javnom sektoru (Zaključak Vlade RH od 23. rujna 2010.),

Dokumenti vezani uz pregovore za Poglavlje 27. Okoliš (Zaključak Vlade Republike Hrvatske od 11. studenog 2010. o usvajanju revidiranih i ažuriranih Planova provedbe za direktive EU u poglavlju 27. Okoliš).

AUTORI

Zdravko Krmek, dipl.ing., državni tajnik [a]

Ružica Drmić, dipl.ing.građ., ravnateljica Uprave vodne politike i međunarodnih projekata [b]

[a] Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, zdravko.krmek@voda.hr.

[b] Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, ruzica.drmic@voda.hr.

P 02.

ZAŠTITA OD POPLAVA U HRVATSKOJ

Jadranko Husarić, Zoran Đuroković, Danko Biondić, Mario Obrdalj

SAŽETAK: Rad sadrži osnovne informacije o stanju zaštite od poplava u Hrvatskoj, o mjerama koje se poduzimaju za unapređenje stanja, te o temeljnim planskim dokumentima zaštite od poplava predviđenim Zakonom o vodama ("Narodne novine", br. 153/09). Opisuju se Državni plan obrane od poplava koji je donešen ("Narodne novine", br. 84/10), te Plan upravljanja rizicima od poplava i Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije koji su u pripremi.

KLJUČNE RIJEČI: Stanje zaštite od poplava, Državni plan obrane od poplava, Plan upravljanja rizicima od poplava, Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije

FLOOD PROTECTION IN CROATIA

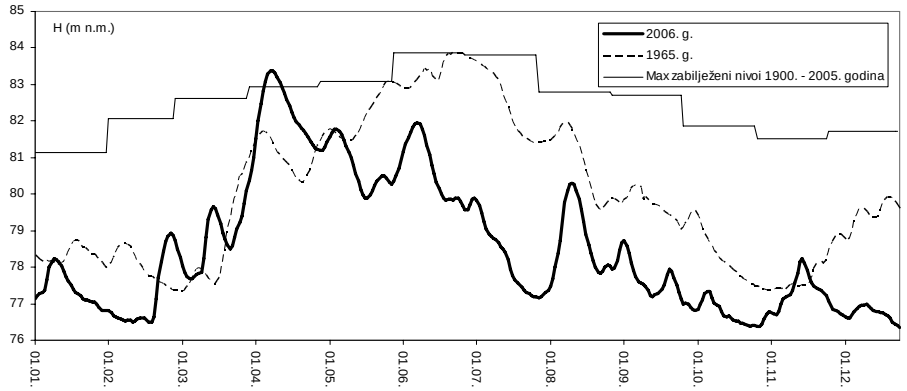
SUMMARY: The paper contains basic information about the state of flood protection in Croatia, measures that are taken to improve this state and main planning flood protection documents anticipated by the Water Act (Official Gazette No. 153/09). It describes the enacted National Flood Protection Plan (Official Gazette No. 84/10) as well as the Flood Risk Management Plan and Multi-Year Construction Programme for Regulation and Protective Water Structures and Amelioration Structures, which are in preparation.

KEY WORDS: State of flood protection, National Flood Protection Plan, Flood Risk Management Plan, Multi-Year Construction Programme for Regulation and Protective Water Structures and Amelioration Structures

1. UVOD

Posljednjih se desetljeća po čitavom svijetu, pa tako i u Hrvatskoj i drugim europskim državama, učestalo bilježe pojave iznimno obilnih kiša koje padaju na širim prostorima. Posljedice takvih pojava su ekstremni vodostaji u rijekama i bujične poplave u urbanim sredinama, koje su se ranije javljale možda jednom u stotinjak godina ili čak i rjeđe. Da li su takve pojave posljedice globalnih klimatskih promjena ? O tome stručnjaci i znanstvenici iznose različite teze, ali se svi slažu s činjenicom da se u prirodi nešto događa i da su rizici od poplava i poplavnih šteta značajno povećani u odnosu na ranija stanja. Tako je primjerice 2006. godine na Dunavu kod Vukovara zabilježen drugi po visini

maksimalni vodostaj vodenog vala, od kada se na toj lokaciji provode sustavna motrenja. Najviši vodostaj je zabilježen 1965. godine tijekom katastrofalne poplave na vukovarskom području. Usporedba nivograma Dunava kod Vukovara iz 1965. i 2006. godine prikazana je na slici 1.

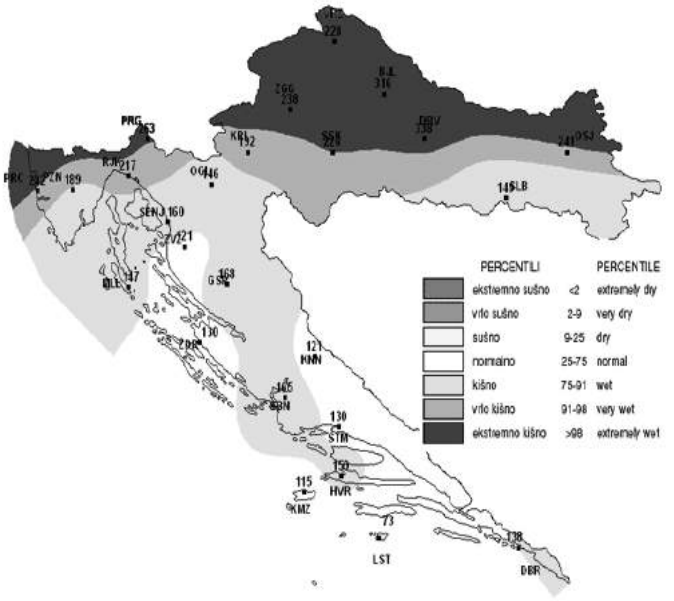


Slika 1. Usporedba nivograma Dunava kod Vukovara iz 1965. i 2006. godine

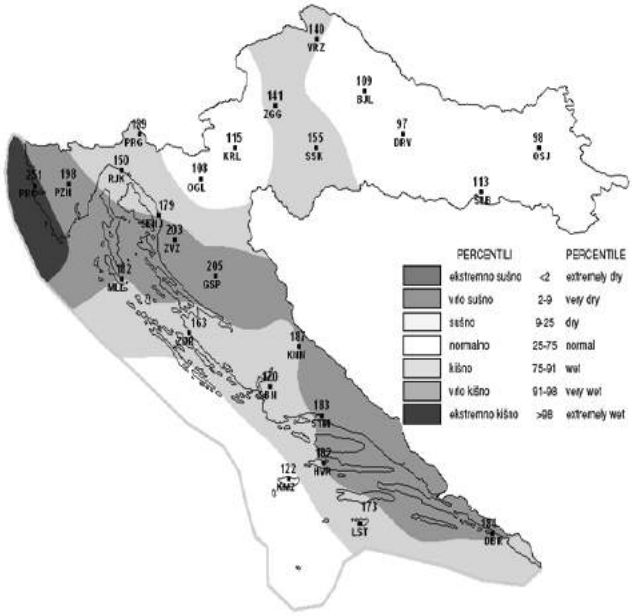
Tijekom 2010. godine su obilni kišni događaji utjecali na formiranje velikih vodnih valova na Dunavu, Savi i Neretvi, a isto tako i na desetak manjih vodotoka u Slavoniji i Baranji, kao što su primjerice Orljava, Londža i Vrbova na slivu Save, te Baranjska Karašica, Vuka, Voćinka i Vojlovica na slivovima Drave i Dunava. Obilne kiše su tijekom 2010. godine padale i na jadranskom vodnom području, na kojem su zabilježene katastrofalne bujične poplave u Umagu, Novigradu, Puli, Dubrovniku i u drugim mjestima.

U razdoblju od 16. do 19. rujna 2010. godine koje je prethodilo poplavama rijeke Save na širem zagrebačkom području, u susjednoj su Sloveniji pale obilne kiše (Brnik - Letališče 184 mm, Celje 218 mm i Novo Mesto 150 mm) koje su formirale veliki vodni val. Bujična poplava u Dubrovniku 22. studenog 2010. godine formirana je uslijed obilne kiše visine od 158 mm koja je pala u samo 12 sati. Na pojedinim područjima u Slavoniji i Baranji je u kratkom razdoblju od svega nekoliko dana palo više od 200 mm kiše.

Tijekom 2010. godine su na 18 vodotoka proglašavane izvanredne mjere obrane od poplava, a na čak 23 vodotoka među kojima su Sava, Orljava, Lika i Neretva proglašavana su izvanredna stanja. Odstupanja količina palih oborina od višegodišnjih prosjeka za rujan i studeni 2010. godine prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda prikazana su na slikama 2. i 3.



Slika 2. Odstupanje oborina od višegodišnjeg prosjeka, rujan 2010. godine



Slika 3. Odstupanje oborina od višegodišnjeg prosjeka, studeni 2010. godine

Obrana od poplava u takvim je uvjetima otežana, a u nekim je situacijama gotovo i nemoguća. Ipak, za razliku od nekih drugih europskih država, u Hrvatskoj su usprkos velikim materijalnim štetama izbjegnute ljudske žrtve.

Iskustva iz posljednjih poplava u Hrvatskoj su pokazala da se poplave događaju i tamo gdje ih nitko ne očekuje, te da se javljaju i veće vode od projektnih velikih voda visokih povratnih razdoblja na koje su dimenzionirani postojeći zaštitni sustavi. S time u svezi Hrvatske vode su pokrenule opsežne aktivnosti na aktualizaciji ranijih rješenja i na rješavanju kritičnih točaka zaštitnih sustava.

Temeljni planski dokumenti zaštite od poplava predviđeni novim Zakonom o vodama ("Narodne novine", br. 153/09) su Državni plan obrane od poplava koji je donešen ("Narodne novine", br. 84/10), te Plan upravljanja rizicima od poplava i Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije koji su u pripremi u Hrvatskim vodama, a u konačnici će ih donijeti Vlada Republike Hrvatske. Plan upravljanja rizicima od poplava će nakon 2015. godine postati sastavnim dijelom Plana upravljanja vodnim područjima.

U nastavnom tekstu opisano je postojeće stanje zaštite od poplava u Republici Hrvatskoj i planski dokumenti koji sadrže programe mjera za njeno unapređenje.

2. STANJE ZAŠTITE OD POPLAVA

Poplave su prirodni fenomeni čije se pojave ne mogu izbjeći, ali se poduzimanjem različitih preventivnih građevinskih i negrađevinskih mjera rizici od poplavljivanja mogu smanjiti na prihvatljivu razinu. One su među opasnijim elementarnim nepogodama i mogu uzrokovati gubitke ljudskih života, velike materijalne štete, devastiranje kulturnih dobara i ekološke štete. Zbog prostranih brdsko-planinskih područja s visokim kišnim intenzitetima, prostranih dolina nizinskih vodotoka, velikih gradova i vrijednih dobara na potencijalno ugroženim površinama, te dijelom zbog nedovoljno izgrađenih zaštitnih sustava, Hrvatska je prilično ranjiva od poplava. Analize provedene za potrebe pripreme Strategije upravljanja vodama ("Narodne novine", br. 91/08) su pokazale da poplave potencijalno ugrožavaju oko 15% državnoga kopnenog teritorija, od čega je veći dio danas zaštićen s različitim razinama sigurnosti.

Na slivu Save je od velikih voda Save primjereno zaštićen samo grad Zagreb koji je, prema procjenama, siguran od 1.000 - godišnjih velikih voda. Ostala područja uz Savu uglavnom su nedovoljno zaštićena. Uzvodno od Zagreba prema slovenskoj granici obrambeni nasipi samo su dijelom izgrađeni, pa su niski dijelovi šire zaprešićke i samoborske regije ugroženi od poplava. Nizvodno od Zagreba pa sve do granice sa Srbijom, mnoga područja uz Savu imaju nižu razinu sigurnosti od potrebne, jer je zaštitni sustav Srednjeg posavlja nedovršen, a postojeći obrambeni nasipi na mnogim su mjestima nedovoljno visoki za zaštitu od ekstremnih velikih voda koje se javljaju u posljednje vrijeme. Sustavom Srednje posavlje od poplava se izravno štite prostori uz Savu između Podsuseda i Stare Gradiške, te prostori uz Kupu nizvodno od ušća Dobre na kojima se nalaze veliki gradovi Zagreb, Sisak i Karlovac i na kojima danas živi više od milijun stanovnika. Zbog redukcije vršnih protoka poplavnih valova u nizinskim retencijama sustav Srednje posavlje ima ključnu važnost i u zaštiti od poplava slavonske dionice Save nizvodno od Stare Gradiške, te u zaštiti od poplava u susjednim državama Bosni i Hercegovini i

Srbiji. Zaštita od poplava zasnovana na nizinskim retencijama i prostranim poplavnim površinama omogućila je zadržavanje ekološki povoljnih uvjeta, tako da je zbog svojih izuzetnih prirodnih vrijednosti dio zaštitnog sustava Srednje posavlje proglašen Parkom prirode Lonjsko polje.

Na slivovima savskih pritoka zaštitni sustavi također su nedovršeni ili ih uopće nema. Opasnosti posebno prijete naseljima Hrvatskog zagorja koje ugrožavaju Krapina i njezini bujični pritoci, gradu Zagrebu koji je od medvedničkih bujica usprkos djelomično izgrađenom zaštitnom sustavu od 19 brdskih retencija zaštićen samo od 20 do 50-godišnjih velikih voda, naseljima u Hrvatskom pounju koje ugrožava Una, te naseljima Požeške kotline koja su ugrožena od Orljave i njezinih bujičnih pritoka. Od bujičnih brdskih voda nedovoljno su zaštićeni i drugi gradovi i naselja na slivovima Save i Kupe, među kojima se posebno ističe Ogulin u čijoj zaštiti od poplava važnu ulogu ima hidroenergetski sustav Gojak. Ugrožene su i mnoge poljoprivredne površine i infrastrukturne građevine, a kao specifičnost se ističe ugroženost od poplava na zatvorenim krškim poljima Gorskog kotara i Like.

Koncepcija zaštite od poplava Dunava, Drave i Mure zasnovana je na obrambenim nasipima i širokim inundacijskim pojasima uz vodotoke. Nasipi su dovršeni na većem dijelu područja, osim na nekim dionicama uz stara korita hidroelektrana Varaždin, Čakovec i Dubrava, uz rijeku Vučicu i na manjem dijelu Baranje. Posljednje pojave velikih voda su ukazale da na nekim dionicama postojeći nasipi ne zadovoljavaju svojom visinom i dimenzijama, pa ih je potrebno rekonstruirati. Izgradnjom i kasnijom rekonstrukcijom Glavnog dravskog nasipa, nasipa Drava - Dunav i Zmajevac - Kopačevo omogućena je učinkovita zaštita Baranje od velikih voda Drave i Dunava, te očuvanje širokih poplavnih površina uz ušće Drave u Dunav. Takvo rješenje ne samo da povoljno utječe na prirodni režim voda u Parku prirode Kopački rit nego i na zaštitu od poplava na nizvodnim područjima uz Dunav. Problem zaštite od poplava na Dunavu i donjoj Dravi predstavljaju i pojave ledostaja koje mogu prouzročiti ledene poplave. Za uklanjanje ledenih čepova koji ometaju nesmetano protjecanje vode angažiraju se brodovi ledolomci.

Najveći preostali problem zaštite od poplava na slivovima Drave i Dunava predstavlja veliki broj bujičnih vodotoka koji ugrožavaju naselja i poljoprivredne površine u Međimurju, Podravini, Slavoniji i Podunavlju, što je potvrđeno brojnim poplavama na malim slivovima u posljednje vrijeme. Sustavi zaštite od brdskih voda većim su dijelom dovršeni samo na slivnim područjima Međimurja i Županijskog kanala, dok na ostalim slivnim područjima postoje samo pojedinačne regulacijske i zaštitne vodne građevine, koje bez izgradnje brdskih akumulacija i retencija ne mogu osigurati primjerenu zaštitu nizinskih dijelova slivova od poplava.

Problematika zaštite od poplava na primorsko - istarskim slivovima vezana je uz zaštitu urbanih sredina, turističkih područja, prometnica i poljoprivrednih površina od bujičnih poplava, a kao posebna specifičnost ističe se odvodnja krških polja. U Istri su od poplava nedovoljno zaštićeni niži dijelovi Buzeta i Pazina koje ugrožavaju velike vode Mirne i Pazinskog potoka, te naselja i poljoprivredne površine u dolinama Mirne, Dragonje i Raše. Velike probleme mogu stvoriti i brojne bujice koje ugrožavaju gradove, naselja, prometnice i poljoprivredne površine na zapadnoj obali Istre. Na kvarnerskom području opasnost prijeti od zatrpavanja vodotoka klizištima (kanjon Rječine i Vinodolska dolina) koja mogu izazvati poplave većih razmjera, te od mnogih bujica koje ugrožavaju prio-

balne gradove Kvarnera i Hrvatskog primorja, te naselja i poljoprivredne površine na kvarnerskim otocima. Na ličkom je području od poplava Gacke i njezinih pritoka nedovoljno branjeno šire područje Otočca, a od poplava Like i njezinih pritoka nedovoljno je branjeno šire područje Gospića i Kosinjsko polje. Sustav zaštite od poplava na tom području dijelom je vezan uz funkcioniranje sustava hidroelektrane Senj. Poplave u Lici ugrožavaju i brojne poljoprivredne površine i infrastrukturne građevine, a kao specifičnost također se ističu rizici od poplava na zatvorenim krškim poljima. Najvećim dijelom brdske vode s Velebita ugrožavaju naselja i Jadransku magistralu duž čitavog područja od Senja prema Starigradu Paklenici.

Zaštita od poplava u Dalmaciji sastoji se od zaštite od poplava velikih rijeka Zrmanje, Krke, Cetine i Neretve, zaštite od bujica, te od odvodnje krških polja. Na slivovima Zrmanje i Krke regulacijski i zaštitni radovi djelomično su rađeni na kraćim dionicama uz vodotoke poradi zaštite naselja i poljoprivrednih površina. Područje Kninskog polja i dalje je nedovoljno zaštićeno, što se postupno rješava dogradnjom sustava. Značajniji zaštitni i melioracijski sustavi rađeni su na krškim poljima zadarskog i biogradskog zaleđa, Nadinskom blatu, Bokanjačkom blatu i Vranskom polju, što omogućuje poljoprivrednu proizvodnju na tim nekad često plavljenim prostorima. Zaštita od poplava na slivu Cetine vezana je uz rad hidroenergetskog sustava čije se građevine dijelom nalaze i na teritoriju susjedne Bosne i Hercegovine. Uz Cetinu u Sinjskom polju izgrađeni su obrambeni nasipi koji su omogućili razvoj intenzivne poljoprivredne proizvodnje na tom području. Opće stanje zaštite od poplava na slivu Cetine je dobro. Područje delte Neretve posebno je ranjivo od poplava. Izgrađeni zaštitni i melioracijski sustav još uvijek nije dovršen, pa su pojedini dijelovi područja nedovoljno zaštićeni. Najugroženiji su desnoobalni niži dijelovi Metkovića, što se planira riješiti izgradnjom nasipa. Neprimjerenom gradnjom u neposrednim zaobaljima Male Neretve spriječeno je normalno funkcioniranje zaštitnog sustava, što također utječe na porast rizika od poplava na tom području. S obzirom da Mala Neretva više ne može služiti kao oteretni kanal u zaštiti od poplava, izvršena je rekonstrukcija ustave u Opuzenu. Za prilagodbu novoj koncepciji zaštite od poplava u delti Neretve, potrebno je rekonstruirati i dio ostalih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina. Dalmatinsku obalu od Zrmanje do Prevlake, te dalmatinske otoke ugrožavaju i brojne neuređene bujice, ali i neprimjerena gradnja kojom su presječeni mnogi bujični tokovi. Poseban problem je odvodnja krških polja (Rastok, Vrgorsko polje, Imotsko - bekijsko polje) koja usprkos velikim naporima još uvijek nije adekvatno riješena.

3. DRŽAVNI PLAN OBRANE OD POPLAVA

Državnim planom obrane od poplava ("Narodne novine", br. 84/10) uređuju se: teritorijalne jedinice za obranu od poplava, stadiji obrane od poplava, mjere obrane od poplava, uključivo i preventivne mjere, nositelji obrane od poplava, upravljanje obranom od poplava s obvezama i pravima rukovoditelja obrane, sadržaj provedbenih planova obrane od poplava, donositelji i sadržaj logističkih planova za slučaj poplava, koji određuju mjere sklanjanja i spašavanja, rad hitnih službi i drugih bitnih službi u uvjetima poplava, opskrbu vodom, hranom i slično, sustav za obavješćivanje i upozoravanje i sustav veza, te mjere za obranu od leda na vodotocima.

Novost u Državnom planu obrane od poplava u odnosu na raniji sličan dokument je os-

nivanje Glavnog centra obrane od poplava, kao središnje ustrojbene jedinice Hrvatskih voda za upravljanje redovitom i izvanrednom obranom od poplava. U Glavnom centru obrane od poplava osigurava se središnje upravljanje, glavna koordinacija, te se uspostavlja sustav veza i obavješćivanja o stanjima u obrani od poplava. Glavni centar obrane od poplava osigurava stručnu i tehničku potporu glavnom rukovoditelju obrane od poplava. Njegovo sjedište je u sjedištu Hrvatskih voda u Zagrebu, a u njegovom okviru djeluju i podcentri obrane od poplava na razini sektora.

Novost su i Glavni provedbeni plan obrane od poplava i provedbeni planovi obrane od poplava branjenih područja koje donose Hrvatske vode, a kojima se utvrđuju tehnički i ostali elementi potrebni za upravljanje redovitom i izvanrednom obranom od poplava.

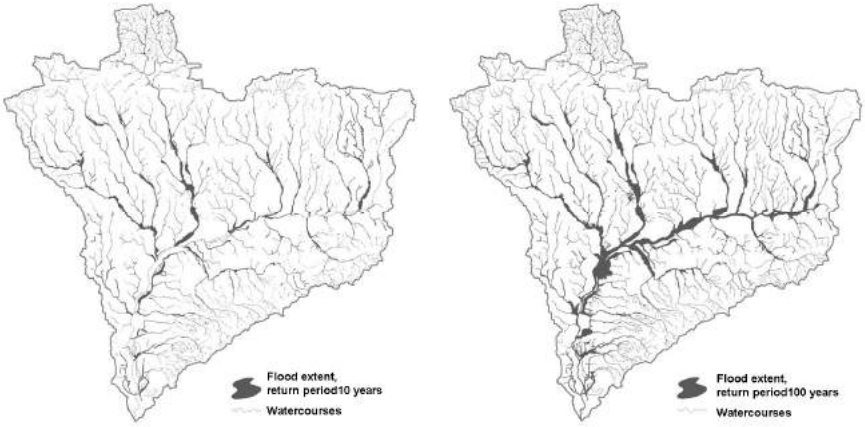
4. PLAN UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA

Upravljanje rizicima od poplava podrazumijeva sveobuhvatan pristup smanjenju vjerojatnosti pojave poplava i njihovih mogućih štetnih posljedica na stanovništvo, gospodarstvo i okoliš, a koji objedinjuje elemente predostrožnosti, zaštite, pripravnosti i hitnog djelovanja u slučaju nailaska velikih voda. Uz zaštitne mjere na vodotocima i drugim vodama usmjerene na sprečavanje poplava, a koje su okosnica tradicionalnog pristupa u upravljanju poplavama, naglasak se sve više stavlja na preventivno djelovanje na poplavama ugroženim područjima i na njihovim slivovima, usmjereno na smanjenje mogućih šteta u slučaju plavljenja nezaštićenih ili nedovoljno štićenih površina.

Zakonom o vodama ("Narodne novine", br. 153/09) je predviđeno da se za svako vodno područje, a po potrebi i za njegove dijelove izrađuju prethodne procjene rizika od poplava, koje obuhvaćaju:

1. karte (zemljovide) vodnog područja u odgovarajućem mjerilu, s unesenim granicama vodnih područja podslivova i po potrebi, priobalnih područja s prikazom topografije i korištenja zemljišta;
2. opis poplava iz prošlosti koje su imale znatnije štetne učinke na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarske djelatnosti i vjerojatnost pojave sličnih događaja u budućnosti, koji bi mogli dovesti do sličnih štetnih posljedica;
3. procjenu potencijalnih štetnih posljedica budućih poplava za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarske djelatnosti, uzimajući u obzir, što je više moguće, topografske, općenite hidrološke i geomorfološke značajke i položaj vodotoka, uključujući poplavna područja i, uključujući poplavna područja kao prirodna retencijska područja, učinkovitost postojećih građevina za obranu od poplava, položaj naseljenih područja, položaj industrijskih zona, planove dugoročnog razvoja te klimatske promjene na pojavu poplava.

Prethodne procjene rizika od poplava dosad su dovršene za značajan dio državnog teritorija (Krapina - slike 4. i 5., Česma, Ilova s Pakrom i Orljava na slivu Save; Karašica - Vučica na slivovima Drave i Dunava; Cetina, Jadro i Žrnovnica, Imotsko - bekijsko polje, Zrmanja i Lički plato, te Krka na dalmatinskim slivovima), a određeni dio je u izradi (Kupa na slivu Save; Lika na primorsko - istarskim slivovima; Vransko jezero i dio Ravnih kotara, Rastok, Vrgorsko polje i Baćinska jezera, delta Neretve i Konavosko polje na dalmatinskim slivovima).



Slika 4. Indikativne karte poplavnih područja na slivu rijeke Krapine

Slika 5. Indikativne karte potencijalnih šteta na poplavnim područjima sliva rijeke Krapine

Na temelju prethodnih procjena rizika od poplava, izraditi će se karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava za svako vodno područje, a po potrebi i za dijelove vodnih područja i podslivove. Karte opasnosti od poplava (zemljovidi) će sadržavati prikaze mogućnosti razvoja određenih poplavnih scenarija, a karte rizika od poplava će sadržavati prikaze mogućih štetnih posljedica razvoja tih scenarija.

Za svako vodno područje i po potrebi za dijelove vodnih područja i podslivove, će se na osnovi karata opasnosti i rizika od poplava izraditi planovi upravljanja rizicima od poplava, koji će sadržavati: ciljeve za upravljanje rizicima od poplava, mjere za ostvarenje tih ciljeva, uključujući preventivne mjere, zaštitu, pripravnost, prognozu poplava, te sustave za obavještavanje i upozoravanje. Cjeloviti Plan upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj biti će izrađen do kraja 2015. godine, kada će postati i sastavni dio Plana upravljanja vodnim područjima. Plan upravljanja rizicima od poplava nakon toga će se kontinuirano revidirati i novelirati u šestogodišnjim planskim ciklusima i biti će polazište

za izradu operativnih planova predviđenih Zakonom o vodama, osobito višegodišnjih programa gradnje i godišnjih planova upravljanja vodama u dijelu koji se odnosi na uređenje vodotoka i drugih voda, te zaštitu od štetnog djelovanja voda.

5. VIŠEGODIŠNJI PROGRAM GRADNJE REGULACIJSKIH I ZAŠTITNIH VODNIH GRAĐEVINA I GRAĐEVINA ZA MELIORACIJE

5.1. Značenje i značajke programa

Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju je operativni provedbeni program upravljanja vodama u djelatnosti uređenja vodotoka i drugih voda i zaštite od štetnog djelovanja voda. Izrada tog programa je propisana člankom 37. Zakona o vodama ("Narodne novine", br. 153/09), a njime se utvrđuju: pojedinačni projekti, načini i razdoblja njihove provedbe, sudionici u provedbi, iznosi ulaganja i izvori sredstava, red prvenstva u provedbi, odnosno vrednovanje projekata metodom višekriterijske analize sa težinskim koeficijentima, praćenje provedbe programa, rizici za provedbu programa, te potrebni stručni kapaciteti za njegovu provedbu. Programom će se operacionalizirati sustav koji će ga realizirati, na način koji će doprinijeti učinkovitijem korištenju raspoloživih financijskih, kadrovskih i informacijsko-dokumentacijskih resursa vodnoga gospodarstva u djelatnosti uređenja vodotoka i drugih voda i zaštite od štetnog djelovanja voda, a u tijeku su završne aktivnosti na pripremi njegovog nacrta.

Zakonom je određeno da se višegodišnji Programi gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju izrađuju sukladno Strategiji upravljanja vodama i Planu upravljanja vodnim područjima, a nakon 2015. godine i u skladu s Planom upravljanja rizicima od poplava u dijelu koji se odnosi na investicije u sustave zaštite od štetnog djelovanja voda. Time se osigurava postupna usklađenost operativnih programa sa strateškim opredjeljenjima u upravljanju vodama prihvaćenim na državnoj razini i s preuzetim standardima Europske unije na području vodne politike, osobito onima iz Okvirne direktive o vodama i Direktive o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima. Puna usklađenost planske dokumentacije za uređenje vodotoka i drugih voda i zaštitu od štetnog djelovanja voda očekuje se nakon donošenja Plana upravljanja rizicima od poplava 2015. godine.

Izradi nacrta programa prethodila je početna identifikacija ranije planiranih pojedinačnih projekata uređenja voda i zaštite od štetnog djelovanja voda, uključivo osnovne tehničke podatke i informacije o tim projektima, procjene troškova, te procjene spremnosti pojedinih projekta za realizaciju. Slijedilo je utvrđivanje prioriteta čijom će se realizacijom povećati razina zaštite od poplava na nedovoljno štićenim područjima na kojima se mogu očekivati velike materijalne štete, ljudske žrtve i štetan utjecaj poplava na okoliš i ljudsko zdravlje, a što su u pravilu područja nedovoljno štićenih gradova i većih naselja. U konačnici je na temelju utvrđenih kriterija koji procjenjuju značenja i karaktere pojedinih projekata, odnosno njihove utjecaje na povećanje razine sigurnosti stanovništva i imovine, te na okoliš, kao i stupnjeve spremnosti za izvođenje, izrađen prijedlog prioritetnih projekata. Pod projektom se u ovom programu podrazumijeva cjelokupni pothvat u određenom vremenu, s definiranim financijskim proračunom i sa svojim fazama (od pro-

jektnog zadatka do izvedbe, odnosno izgradnje) i stručnim kadrom koji će ga provoditi. Projekti uvršteni u program pripremati će se za provedbu i shodno raspoloživim financijskim sredstvima nastojati će se u što većoj mjeri realizirati u razdoblju do 2015. godine.

Vodno gospodarstvo se dosad nije bavilo problematikom zaštite od poplava pod utjecajem mora, koje se u posljednje vrijeme sve češće javljaju. Prve procjene rizika od poplava pod utjecajem mora, zajedno s procjenama potrebnih ulaganja i planiranim zahvatima biti će uskoro pokrenute, a planirani projekti će se uvrstiti u buduće novelacije programa.

Za učinkovitu provedbu programa važno je ustrojiti učinkoviti sustav dovršenja preostalih pripremnih aktivnosti za sve identificirane projekte, tako da u svakom trenutku bude raspoloživ dovoljan broj projekata potpuno spremnih za fazu gradnje. Time će se osigurati optimalno iskorištenje svih raspoloživih financijskih sredstava za unapređenje stanja zaštite od poplava, i to ne samo onih koja se namjenski prikupljaju vodnim naknadama, nego i onih iz drugih dostupnih izvora kao što su primjerice fondovi Europske unije, razni domaći i strani zajmovi, te darovnice.

Pripremljeni projekti iz prvog Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju koji se neće realizirati do 2015. godine, imati će prednost kod utvrđivanja programa gradnje za sljedeće plansko razdoblje od 2016. do 2021. godine.

Program je ključni dokument za utvrđivanje i provedbu kapitalnih projekata zaštite od štetnog djelovanja voda, a njegova lista prioritetnih projekata biti će izmijenjena, dopunjena i verificirana svake dvije godine, te značajno revidirana svakih šest godina, naročito nakon donošenja Plana upravljanja rizicima od poplava 2015. godine.

Program će provoditi Hrvatske vode, koje svojim iskustvima i referencama na provedbi različitih projekata financiranih iz domaćih i međunarodnih izvora jamče njegovu uspješnu realizaciju. Utvrđena dinamika financiranja prioritetnih projekata biti će jedna od podloga za pripreme godišnjih financijskih planova Hrvatskih voda i godišnjih Planova upravljanja vodama.

5.2. Pokazatelji provedbe programa i učestalost praćenja rezultata

Nacrt Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju sadrži i popis desetak osnovnih pokazatelja (indikatora) njegove provedbe, koji uključuje i detaljno razrađene načine prikupljanja i analize dostavljenih podataka i informacija za njihove aktualizacije. Utvrđeni pokazatelji provedbe programa i njegovih pojedinih projekata omogućiti će redovito i sustavno izvješćivanje donositelja odluka, te njihova pravovremena reagiranja u slučaju bilo kakvih problema. Sa ciljem što efikasnijeg praćenja provedbe cjelovitog programa i provedbe svakog pojedinog projekta unutar programa, osigurati će se informatički sustav sa pripadajućom softverskom podrškom koji će omogućiti analize provedbe programa i projekata po bilo kojem kriteriju (prostornom, hidromorfološkom, organizacijskom, upravljačkom, vremenskom, financijskom i slično). Pokazatelji provedbe programa, njihova tumačenja i pripadajuće analize biti će uključeni u godišnja izvješća o napredovanju programa.

Utvrđena stanja provedbe pojedinih projekata biti će jedna od podloga za pripreme godišnjih financijskih planova Hrvatskih voda i godišnjih Planova upravljanja vodama.

Krajem 2013. godine, odnosno na polovici programskog razdoblja, detaljno će se analizi-

rati stanje provedbe programa i predložiti eventualna unapređenja.

5.3. Strateški i financijski okvir

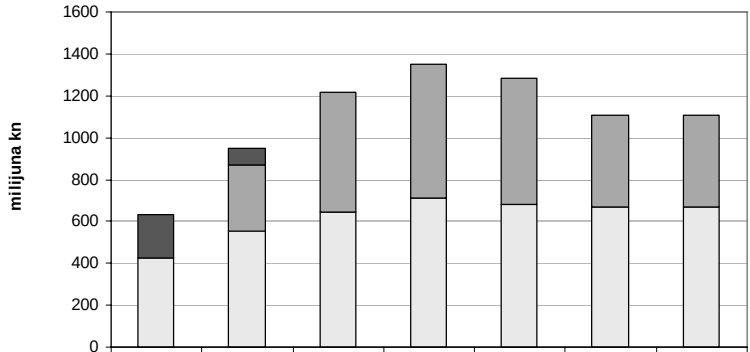
Strategijom upravljanja vodama („Narodne novine", br. 91/08) je utvrđen strateški cilj zaštite od štetnog djelovanja voda kojim se predviđa dostizanje funkcionalnosti sustava zaštite od poplava do razine od oko 87% do kraja 2023. godine i do 100% do kraja 2038. godine (postojeće stanje - 73% funkcionalnosti na vodama I. reda i 75% funkcionalnosti na vodama II. reda). Cilj će se ostvariti postupnom provedbom radova na sanaciji i rekonstrukciji objekata, te realizacijom razvojnih projekata. Polovica predviđenih radova obavit će se u razdoblju do 2023. godine, a polovica u razdoblju do 2038. godine. Procjena potrebnih ulaganja je sljedeća:

- za dovođenje postojećih sustava zaštite od štetnog djelovanja voda u funkcionalno stanje (sanacije i rekonstrukcije) treba uložiti ukupno oko 7,7 milijardi kuna, od čega oko 4,5 milijardi kuna u sustav voda I. reda i oko 3,2 milijarde kuna u sustav voda II. reda; prosječno oko 250 milijuna kuna godišnje,
- za razvojne projekte sustava zaštite od štetnog djelovanja voda treba uložiti ukupno oko 3,1 milijarde kuna, od čega oko 1,3 milijarde kuna u sustav voda I. reda i oko 1,8 milijarde kuna u sustav voda II. reda; prosječno oko 150 milijuna kuna godišnje,
- za potpuno dovođenje detaljne kanalske mreže u funkcionalno stanje treba uložiti ukupno oko 1,4 milijarde kuna,
- za redovita održavanja postojećih zaštitnih sustava prema standardima treba ulagati ukupno oko 915 milijuna kuna godišnje, od čega oko 391 milijun kuna u sustav voda I. reda i oko 524 milijuna kuna u sustav voda II. reda.

Struktura potrebnih troškova ulaganja u regulacijske i zaštitne vodne sustave za postizanje strateških ciljeva, pokazuje da omjer potrebnih ulaganja u održavanje, te dovođenje sustava u funkcionalno stanje i njihov razvoj na godišnjoj razini iznosi oko 70% **:** 30%, čime se osigurava održivost u upravljanju rizicima od poplava.

Ukupna vrijednost ovog višegodišnjeg Programa radova je 4,81 milijarde kuna. Očekivana realizacija u okviru petogodišnjeg razdoblja iznosi 3,20 milijardi kuna. Prema Programu, prosječna godišnja potreba financiranja iznosi 642 milijuna kuna, pri čemu je u prvim godinama primjene Programa to oko 300 milijuna kuna godišnje, dok u sredini programskog razdoblja taj iznos raste na oko 800 milijuna kuna godišnje.

Prema odredbama Zakona o financiranju vodnog gospodarstva ("Narodne novine", br. 153/09), za financiranje redovitih održavanja i razvojnih projekata zaštite od štetnog djelovanja voda koriste se namjenska sredstva prikupljena vodnim doprinosom i naknadom za uređenje voda, uz mogućnost sufinanciranja iz Državnog proračuna i drugih domaćih i stranih izvora. Vodni doprinos i naknada za uređenje voda uvedeni su ranijim Izmjenama i dopunama Zakona o financiranju vodnog gospodarstva iz 2005. godine i naplaćuju se od 2006. godine. Struktura izvora financiranja vodnogospodarske djelatnosti zaštite od štetnog djelovanja voda u razdoblju od 2005. do 2011. godine prikazana je na slici 6.



	2005	2006	2007	2008	2009	2010*	2011*
PRORAČUN	203.5	78.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
VODNI DOPRINOS		319.7	576.3	634.6	602.5	440.0	440.0
NAKNADA ZA UREĐENJE VODA	428.0	551.0	642.1	713.0	680.8	670.0	670.0

godina

Slika 6. Struktura izvora financiranja vodnogospodarske djelatnosti zaštite od štetnog djelovanja voda (2005. - 2011.)

Očekivano smanjenje prihoda od vodnog doprinosa uslijed ekonomske krize, uzeto je u obzir pri projekcijama raspoloživih financijskih sredstava u Nacrtu Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju.

U nacrtu dokumenta je također predviđena i mogućnost sufinanciranja višenamjenskih sustava uređenja i korištenja voda i zemljišta u suradnji s drugim dionicima.

ZAKLJUČAK

Učinkovita i održiva zaštita od poplava u posljednje vrijeme postaje sve važnije pitanje po čitavom svijetu, pa tako i u Hrvatskoj. Usprkos svojoj 135 - godišnjoj tradiciji, naročito u djelatnosti zaštite od poplava i drugih oblika štetnog djelovanja voda, hrvatsko vodno gospodarstvo se danas nalazi pred velikim izazovom planiranja i provedbe zaštite od poplava u novonastalim uvjetima s pojavama sve učestalijih i ekstremnijih velikih voda na čitavom državnom teritoriju.

Polazeći od svojih zakonskih obveza, a imajući u vidu dugogodišnju tradiciju, stečena znanja i dosadašnja iskustva u zaštiti od poplava, Hrvatske vode su pokrenule brojne aktivnosti kako bi na kvalitetan način odgovorile novim izazovima.

Očekuje se da će se postupnom provedbom svih planiranih mjera značajno unaprijediti postojeće stanje zaštite od poplava u državi.

LITERATURA

[1] Strategija upravljanja vodama (“Narodne novine”, br. 91/08).

[2] Zakon o vodama, (“Narodne novine”, br. 153/09).

[3] Zakon o financiranju vodnog gospodarstva, (“Narodne novine”, br. 153/09).

[4] Državni plan obrane od poplava, (“Narodne novine”, br. 153/09).

AUTORI

Jadranko Husarić, dipl.ing. [a]
Zoran Đuroković, dipl.ing [b]
dr. sc. Danko Biondić [c]
Mario Obrdalj, dipl.ing. [d]

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, (jadranko.husaric@voda.hr)

[b] Hrvatske vode, Splavarska 2a, 31000 Osijek, (zoran.djurokovic@voda.hr)

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, (danko.biondic@voda.hr)

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, (mario.obrdalj@voda.hr)

P 03.

NACRT PLANA UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA

Danko Biondić, Sanja Barbalić

SAŽETAK: Rad sadrži osnovne informacije o Nacrtu Plana upravljanja vodnim područjima, kojeg će donijeti Vlada Republike Hrvatske do kraja 2011. godine, nakon usklađenja s primjedbama i sugestijama pristiglim tijekom javne rasprave i postupka strateške procjene utjecaja na okoliš, što je u tijeku. Nacrt dokumenta je dostupan javnosti na mrežnim stranicama Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva (http://www.mrrsvg.hr) i Hrvatskih voda (http://www.voda.hr). Sadržaj dokumenta slijedi odredbe Zakona o vodama, odnosno Okvirne direktive o vodama Europske unije, tako da obuhvaća pregled stanja voda, pregled sustava praćenja stanja voda, te program mjera za unapređivanje stanja voda u Republici Hrvatskoj. Rezultati analiza značajki vodnih područja koje uključuju procjene stanja tijela površinskih voda (rijeke, jezera, prijelazne vode i priobalne vode) i tijela podzemnih voda, te identifikaciju antropogenih opterećenja i utjecaja na vode, objavljeni su u dodacima dokumenta, i to posebno za vodno područje rijeke Dunav, a posebno za jadransko vodno područje. Donošenjem i provedbom Plana upravljanja vodnim područjima Republika Hrvatska će uskladiti svoju vodnu politiku sa standardima Europske unije, a dokument će biti planska osnova za pripremu projekata u vodnom sektoru koji će se sufinancirati raspoloživim sredstvima iz europskih fondova.

KLJUČNE RIJEČI: Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima, vodno područje rijeke Dunav, jadransko vodno područje, analize značajki vodnih područja, praćenje stanja voda, program mjera, javna rasprava

DRAFT RIVER BASIN MANAGEMENT PLAN

SUMMARY: The paper contains basic information on the Draft River Basin Management Plan, which will be enacted by the Government of the Republic of Croatia by the end of 2011, after it has been harmonized with the comments and suggestions received during the public consultation and strategic environmental impact assessment procedure, which are in progress. The draft document is available to the public on the web pages of the Ministry of Regional Development, Forestry and Water Management (http://www.mrrsvg.hr) and Croatian Waters (http://www.voda.hr). The content of the document complies with the provisions of the Water Act and the Water Framework Directive of the European Union, and includes an overview of the status of waters, system of water status monitoring and

programme of measures for improvement of the water status in the Republic of Croatia. The results of analysis of river basin district characteristics, which also includes the status assessments of surface water bodies (rivers, lakes, transitional waters and coastal waters) and groundwater bodies as well as identification of anthropogenic pressures and impacts on the waters published in the annexes to the document, separately for the Danube river basin district and for the Adriatic river basin district. By the enactment and implementation of the River Basin Management Plan, the Republic of Croatia will harmonize its water policy with the standards of the European Union, and the document will become the planning basis for preparation of projects in the water sector to be cofinanced by the European funds.

KEY WORDS: Draft River Basin Management Plan, Danube river basin district, Adriatic river basin district, analysis of river basin district characteristics, monitoring of water status, programme of measures, public consultation

1. UVOD

Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima izrađen je na temelju odredbi Zakona o vodama ("Narodne novine", br. 153/09) i pripadajućih podzakonskih akata, te na temelju prihvaćenih dokumenata iz pregovaračkog procesa s Europskom unijom za poglavlje 27. "Okoliš", a prema dinamici utvrđenoj Akcijskim planom pripreme i donošenja Plana upravljanja vodnim područjima. Dokument je 3. prosinca 2010. godine prihvatila Vlada Republike Hrvatske kao podlogu za izradu konačnog Plana upravljanja vodnim područjima, čije se donošenje očekuje krajem 2011. godine nakon usklađenja s primjedbama i sugestijama s javne rasprave. Tijekom 2011. godine također će se provesti i postupak strateške procjene utjecaja na okoliš.

Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima izradili su stručnjaci Hrvatskih voda polazeći od strateških odrednica iz Strategije upravljanja vodama ("Narodne novine", br. 91/08). Dio potrebnih podloga pripremili su stručnjaci Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Rudarsko - geološko - naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatskog geološkog instituta iz Zagreba, Ekonomskog instituta iz Zagreba, Urbanističkog instituta Hrvatske iz Zagreba, Hrvatskog hidrografskog instituta iz Splita, Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita i Centra za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković iz Rovinja, te njihovi suradnici.

Potrebna znanja i iskustva za pripremu dokumenta, hrvatski stručnjaci su stjecali kroz rad na četiri edukativna pilot projekta planova upravljanja riječnim slivovima (Kupa i Baranjska Karašica na vodnom području rijeke Dunav, te Mirna i Krka na jadranskom vodnom području), koji su financirani iz pristupnih fondova Europske unije i Vlade Kraljevine Nizozemske, te na realizaciji CARDS 2004 Twinning projekta "Jačanje kapaciteta i izrada smjernica za provedbu Okvirne direktive o vodama" financiranog od strane Europske unije, a realiziranog uz pomoć stručnjaka iz Savezne Republike Njemačke i Kraljevine Nizozemske. Europsko vodno zakonodavstvo i vodiči za provedbu Okvirne direktive o vodama (CIS vodiči) prevedeni na hrvatski jezik objavljeni su na mrežnoj stranici Hrvatskih voda (http://www.voda.hr).

2. STRUKTURA I SADRŽAJ DOKUMENTA

Plan upravljanja vodnim područjima je integralni dokument koji u svom programu mjera objedinjuje obveze iz brojnih okolišnih direktiva Europske unije. Time se u velikoj mjeri olakšavaju komunikacije s dionicima i javnošću tijekom javne rasprave, jer se vodnogospodarska problematika razmatra cjelovito što omogućuje usporedbe prednosti i nedostataka pojedinih mjera i aktivnosti u integralnom kontekstu konfrontirajućih interesa, koristi i troškova.

Sadržaj dokumenta je usklađen s odredbama članka 36. Zakona o vodama, odnosno članka 13. i dodatka VII. Okvirne direktive o vodama (2000/60/EZ), tako da dokument sadrži pregled stanja voda, pregled sustava praćenja stanja voda, te program mjera za unapređivanje stanja voda u Republici Hrvatskoj (*Slika 1.*). Nacrt dokumenta je strukturiran na način da slijedi logiku i zahtjeve Zakona o vodama, odnosno Okvirne direktive o vodama.

Slika 1. Struktura i sadržaj Nacrta Plana upravljanja vodnim područjima

Sastavni dijelovi Nacrta Plana upravljanja vodnim područjima su:

1. Registar zaštićenih područja prema zahtjevu članka 48. Zakona o vodama,
2. Registar detaljnijih planova i programa koji se odnose na određene podslivove, sektore, posebna pitanja ili tipove voda na vodnom području na koje se odnosi plan sa sažetkom njihovih sadržaja prema zahtjevu članka 36. Zakona o vodama,
3. Registar vodnih tijela s njihovim značajkama.

Navedeni registri nalaze se u Hrvatskim vodama, a svi raspoloživi podaci i informacije dostupni su javnosti sukladno odredbama Zakona o pravu na pristup informacijama ("Narodne novine", br. 172/03).

3. ANALIZE ZNAČAJKI VODNIH PODRUČJA

Za svako vodno područje (*Slika 2.*) su prema zahtjevu članka 45. Zakona o vodama posebno provedene analize njihovih značajki.

Slika 2.: Vodna područja i podslivovi u Republici Hrvatskoj

Rezultati analiza značajki vodnih područja koje uključuju i procjene stanja tijela površinskih voda (rijeka i jezera), uključivo i prijelaznih i priobalnih voda, te tijela podzemnih voda i identifikaciju antropogenih opterećenja i utjecaja na značajke vodnih tijela (*Tablica 1.*), objavljeni su u dodacima dokumenta, i to posebno za vodno područje rijeke Dunav, a posebno za jadransko vodno područje.

	Vodno područje rijeke Dunav	Jadransko vodno područje
Značajni generatori opterećenja na vodne resurse (zahvaćanjem voda iz prirodnih ležišta)	• kućanstva posredno putem sustava javne vodoopskrbe, • pojedine grane prerađivačke industrije, zahvaćanjem vode za tehnološke potrebe, • energetski sektor, zahvaćanjem vode za hlađenje termoenergetskih postrojenja.	
Značajni generatori kemijskog i fizičko-kemijskog onečišćenja voda	• kućanstva posredno putem sustava javne odvodnje (urbana područja), i neposredno nekontroliranim ispuštanjem otpadnih voda u okoliš (ruralna područja), • poljoprivreda, kroz nekontrolirane stočne farme i korištenje mineralnih gnojiva u ratarskoj proizvodnji, • pojedine grane prerađivačke industrije, osobito prehrambena, metalna i metaloprerađivačka, te kemijska industrija, • dotoci onečišćenja iz drugih država.	
	nisu registrirani	plovidba, kroz nekontrolirano i protupravno odlaganje krutog i tekućeg otpada u morski okoliš
Značajni generatori hidromorfoloških promjena	• vodno gospodarstvo, uređenjem voda i zaštitom od štetnog djelovanja voda, • poljoprivreda, uređivanjem vodnog režima na poljoprivrednim površinama, • energetski sektor, izgradnjom hidroenergetskih postrojenja,	
	prometni sektor, izgradnjom i održavanjem luka i plovnih puteva na unutarnjim vodama.	urbanizam, turizam i prometni sektor, izgradnjom i uređivanjem obala, kupališta i lučke infrastrukture.
Značajni generatori bioloških onečišćenja	nisu registrirani	• ribarstvo, osobito marikultura i izlov morskih organizama povlačnim ribarskim alatima, • unos stranih organizama (prometni sektor)

Tablica 1. Pregled identificiranih značajnijih antropogenih opterećenja na vode

Stanje voda opisano je na razini vodnih tijela (*Tablica 2.*). Ukupna ocjena stanja nekog vodnog tijela određena je njegovim ekološkim i kemijskim stanjem za tijela površinskih voda, odnosno količinskim i kemijskim stanjem za tijela podzemnih voda, ovisno o tome koja je od dviju ocjena lošija. Osnovu za razgraničenje vodnih tijela površinskih voda čini tipizacija površinskih voda koja obuhvaća vodotoke slivne površine veće od 10 km^2 i jezera površine veće od 0,5 km^2, a stanje voda je ocijenjeno obzirom na relativno odstupanje od tzv. tip-specifičnih referentnih uvjeta. Tipizirano je ukupno 13.053 km (od 67.020 km) vodotoka, odnosno 167 km^2 (od oko 170 km^2) površine jezera.

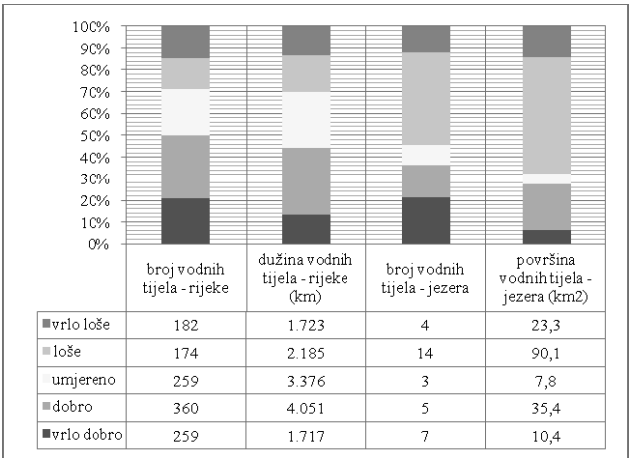
	broj vodnih tijela		dužina (km)		površina (km^2)	
	tipizirana	ukupno analizirano	tipizirana	ukupno analizirano	tipizirana	ukupno analizirano
rijeke	1.234	2.720	13.053	67.020	-	-
jezera	33	44	-	-	167,0	169,6
prijelazne vode	29	-	-	-	-	-
priobalne vode	22	-	-	-	-	-
podzemne vode	32		-		-	

Tablica 2. Pregled broja vodnih tijela

Opće stanje površinskih voda povoljnije je na jadranskom vodnom području nego na vodnom području rijeke Dunav. Ukupno opće stanje voda u Republici Hrvatskoj nije zadovoljavajuće na 615 vodnih tijela rijeka (50%) i na 21 od 33 vodna tijela jezera (64%). Samo nešto više od 45% ukupne dužine vodnih tijela tipiziranih vodotoka i 27,4% ukupne

površine tipizirnih jezera zadovoljavaju kriterije dobrog stanja prema osnovim fizikalno-kemijskim i hidromorfološkim pokazateljima. Dobro kemijsko stanje je utvrđeno na 1.204 vodna tijela rijeka i na svim vodnim tijelima jezera. Na manje od 5% ukupne dužine tipiziranih vodotoka utvrđeno je da nije postignuto dobro stanje u odnosu na listu prioritetnih onečišćujućih tvari. Gledano statistički, ukupno stanje rijeka i jezera (*Slika 3.*) slično je općem hidromorfološkom i fizikalno-kemijskom stanju, zbog malog broja vodnih tijela za koja nije postignuto dobro kemijsko stanje.

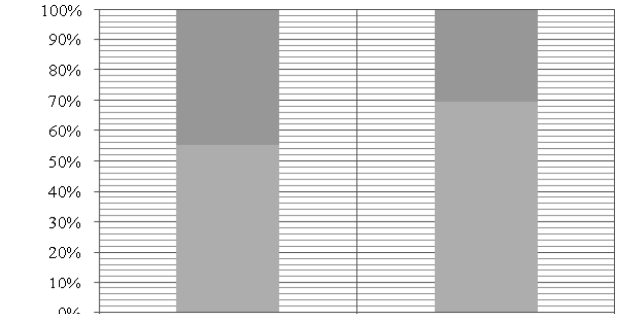
Najčešći razlog neispunjavanja ciljeva zaštite vodnog okoliša na rijekama i jezerima je onečišćenje hranjivim tvarima (ukupni fosfor i ukupni dušik), a na 64% vodnih tijela rijeka i na 32% vodnih tijela jezera na kojima je utvrđeno nezadovoljavajuće stanje voda, takvo stanje je rezultat više različitih elemenata, što je vjerojatno posljedica intenzivnog polivalentnog gospodarskog razvoja pojedinih područja.



	broj vodnih tijela - rijeke	dužina vodnih tijela - rijeke (km)	broj vodnih tijela - jezera	površina vodnih tijela - jezera (km2)
vrlo loše	182	1.723	4	23,3
loše	174	2.185	14	90,1
umjereno	259	3.376	3	7,8
dobro	360	4.051	5	35,4
vrlo dobro	259	1.717	7	10,4

Slika 3. Procjena stanja kopnenih površinskih voda (rijeke i jezera)

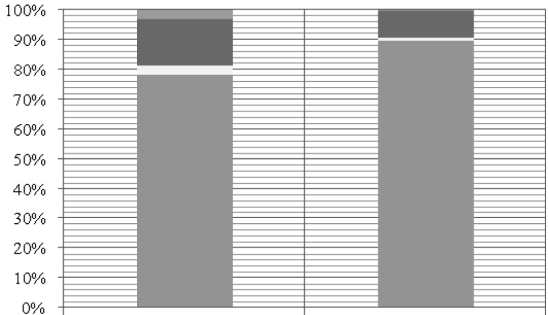
Prema ukupnoj procjeni stanja 56% vodnih tijela prijelaznih i 70% priobalnih voda je u dobrom stanju (*Slika 4.*). Najveća odstupanja od dobrog stanja prijelaznih voda su uzrokovana hidromorfološkim promjenama, a kriteriji u odnosu na dopuštene koncentracije prioritetnih tvari nisu zadovoljeni na samo jednom vodnom tijelu prijelaznih voda. Odstupanja od dobrog stanja priobalnih voda u odnosu na hidromorfološko stanje procijenjena su na 4 vodna tijela. Prema rezultatima jednokratno provedenog monitoringa prioritetnih tvari, kriteriji dobrog stanja nisu zadovoljeni u 3 vodna tijela priobalnih voda.



	broj vodnih tijela - prijelazne vode	broj vodnih tijela - priobalne vode
nije dobro	12	7
dobro	15	16

Slika 4. Procjena stanja prijelaznih i priobalnih voda

Stanje tijela podzemnih voda je uglavnom dobro (*Slika 5.*). Na 6 vodnih tijela je utvrđeno da ne zadovoljavaju kriterije dobrog kemijskog stanja stanja, prije svega zbog češćeg prekoračenja dopuštenih koncentracija, pri čemu treba naglasiti da se u određenom broju slučajeva radi o tvarima prirodnog podrijetla, te se ne može očekivati smanjenje njihovih koncentracija niti nakon provedbe programa mjera. Na jadranskom vodnom području identificirana su samo 4 vodna tijela za koje je ocijenjeno da nisu u dobrom stanju, i to uglavnom zbog intruzije slane vode.

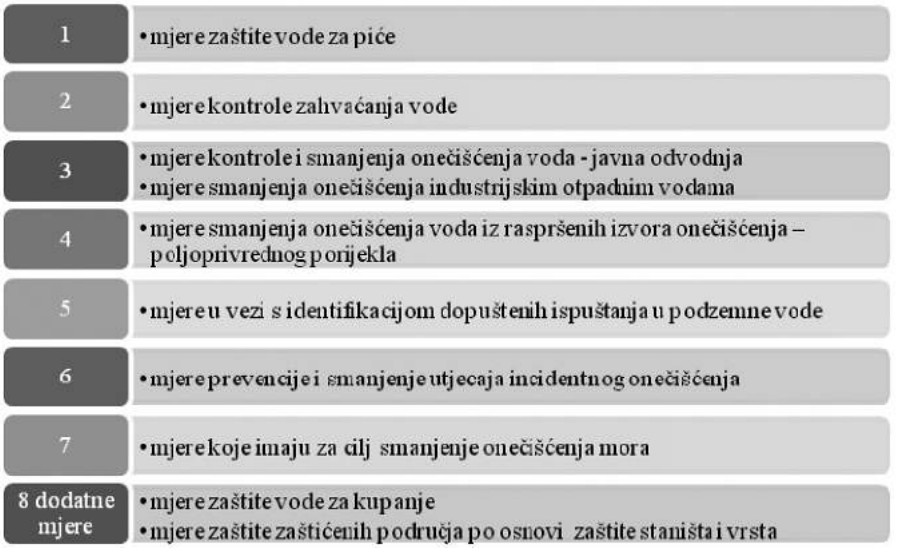


	broj vodnih tijela - podzemne vode	površina vodnih tijela podzemnih voda (km2)
nema podataka	1	97
loše	5	5.191
vjerojatno loše	1	440
dobro	25	50.140

Slika 5. Procjena stanja podzemnih voda

4. PRAĆENJE STANJA VODA I PROGRAM MJERA

Po vodnim područjima obrađeno je i praćenje stanja voda, te je definiran program građevinskih mjera. Program administrativnih mjera definiran je jedinstveno za čitav državni teritorij. Pri izradi programa osnovnih mjera (osnovne mjere) korištena je službena dokumentacija iz pregovaračkog procesa s Europskom unijom za poglavlje 27. "Okoliš", preuzeta od Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Ministarstva kulture, Ministarstva poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja, Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi, te Agencije za zaštitu okoliša (*Slika 6.*).



Slika 6. Pregled sažetaka programa mjera (osnovne mjere)

Analizirana su 2 osnovna scenarija provedbe mjera:

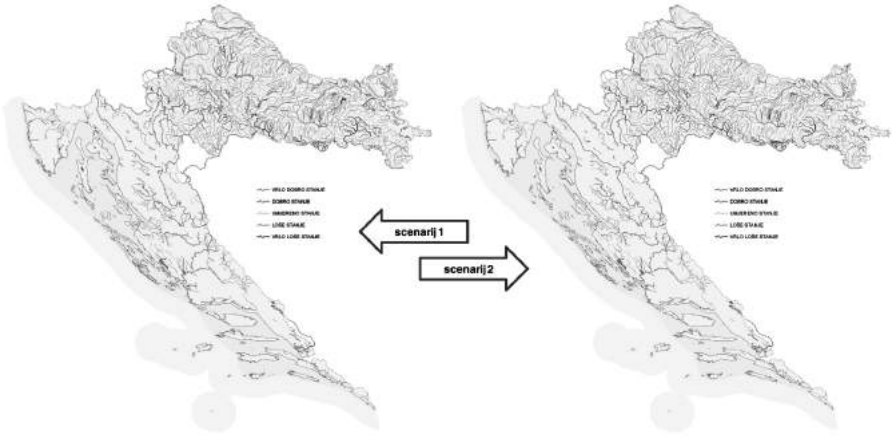
- 1. - obuhvaća aktivnosti koje će se provesti na realizaciji osnovnih mjera za koje je predviđeno da će se realizirati u razdoblju do kraja 2015. godine uzimajući u obzir dopuštena razdoblja prilagodbe.
- 2. - obuhvaća aktivnosti koji će se provesti na realizaciji osnovnih mjera i to potpunom realizacijom navedenih planova i primjenom propisa bez obzira na dopuštena razdoblja prilagodbe.

Procjena/simulacija utjecaja provedbe programa mjera (smanjenje opterećenja voda primjerice onečišćenjem) obavljena je na isti način na koji je izvršena i procena utjecaja sadašnjeg opterećenja na vode, kako bi bilo moguće na odgovarajući način usporediti rezultate i kvantificirati pozitivne učinke provedbe mjera na stanje voda. Analize su pokazale (*Slika 7.*) da se:

- već nakon provedbe mjera prema scenariju 1 na svim vodnim tijelima može očekivati dobro kemijsko stanje,
- značajno poboljšanje općeg fizikalno-kemijskog stanja može očekivati tek nakon

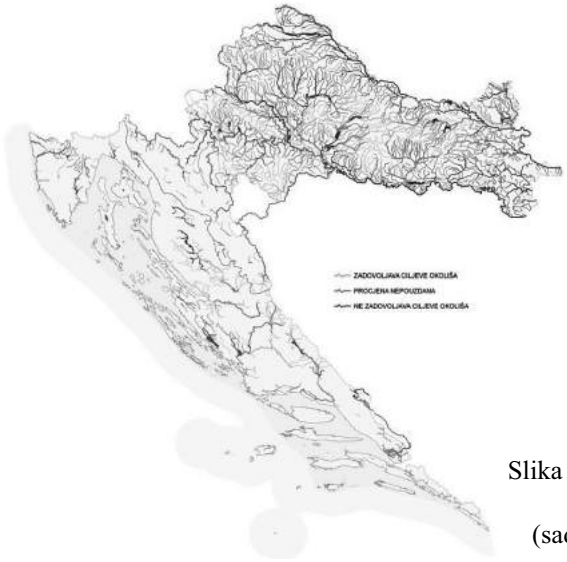
provedbe mjera predviđenih scenarijem 2, što je više izraženo na vodnom području rijeke Dunav nego na jadranskom vodnom području, za kojeg je i u sadašnjem stanju utvrđeno da ima bolje stanje voda.

Programom obveznih mjera (prema scenariju 1 i scenariju 2) nisu predviđene aktivnosti i mjere koje bi direktno utjecale na poboljšanje hidromorfološkog stanja, tako da je poboljšanje općeg stanja voda rezultat isključivo poboljšanja općeg fizikalno-kemijskog stanja.



Slika 7. Očekivano ukupno stanje voda nakon provedbe osnovnih mjera predviđenih scenarijima 1 i 2 (rijeke i jezera)

Plan sadrži i ocjenu pouzdanosti procjena, kako sadašnjeg tako i „prognoziranog“ stanja nakon provedbe osnovnih mjera (*Slika 8.*).



Slika 8. Procjena pouzdanosti ocjene stanja rijeka i jezera (sadašnje stanje - rijeke i jezera)

5. MEĐUNARODNE OBVEZE

Prema odredbama članka 13. Okvirne direktive o vodama i dogovoru država članica Međunarodne komisije za zaštitu rijeke Dunav (ICPDR), podaci i informacije iz nacionalnih planova upravljanja vodnim područjima podunavskih država, pa tako i iz ovog dokumenta, bili su polazna osnovica za pripremu Plana upravljanja vodama na slivu Dunava koji obrađuje pitanja od značenja za sliv Dunava u cjelini, a koji je donešen u prosincu 2009. godine (http://www.icpdr.org). Prema istim načelima u tijeku je izrada Plana upravljanja vodama na slivu Save pod koordinacijom Međunarodne komisije za sliv rijeke Save koji će biti dovršen do kraja 2011. godine (http://www.savacommission.org). Na jadranskom vodnom području su pod koordinacijom Povjerenstva za vodno gospodarstvo Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine započele aktivnosti na pripremi Plana upravljanja vodama na slivovima Neretve i Trebišnjice, što će biti dovršeno do kraja 2013. godine. Bilateralna usuglašavanja značajki vodnih tijela, praćenja stanja voda i programa mjera na prekograničnim vodama provodit će se prema odredbama potpisanih bilateralnih sporazuma o vodnogospodarskoj suradnji sa susjednim državama. Pregled vodnih tijela s obzirom na obveze izvještavanja i multilateralnih/bilateralnih usuglašavanja prikazan je u *Tablici 3*.

	Isključivo nacionalna				Bilateralni sporazumi				Savska komisija		ICPDR		Savska i ICPDR		Republika Hrvatska	
	VP Dunav		VP Jadran		VP Dunav		VP Jadran		VP Dunav		VP Dunav		VP Dunav			
	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj	Dužina (km)	Broj
HR	7.656	779	2.052	312					663	25	72	2	594	14	11.037	1.132
HR,SI					214	21	71	6			151	5	131	3	567	35
HR,HU,SI											83	1			83	1
HR,HU					134	10					166	2			300	12
HR,HU,RS					11	1									11	1
HR,RS					132	13			30	2	140	2			302	17
HR,BH					124	11	150	16	23	1			456	8	753	36
Ukupno	7.656	779	2.052	312	615	56	221	22	717	28	611	12	1.180	25	13.053	1.234
Potrebno usuglašavanje	0	0	0	0	615	56	221	22	53	3	539	10	586	11	2.016	102
	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	7%	11%	88%	83%	50%	44%	15%	8%

Tablica 3. Pregled vodnih tijela s obzirom na obveze izvještavanja i multilateralnih/bilateralnih usuglašavanja

ZAKLJUČAK

Donošenjem i provedbom Plana upravljanja vodnim područjima Republika Hrvatska će u potpunosti uskladiti vodnu politiku sa standardima Europske unije, a dokument će biti osnovna planska podloga za pripremu projekata koji će se sufinancirati raspoloživim sredstvima iz europskih fondova. U tijeku je javna rasprava o nacrtu dokumenta koji je zainteresiranoj javnosti dostupan na mrežnim stranicama Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva (http://www.mrrsvg.hr) i Hrvatskih voda (http://www.voda.hr), a tijekom njenog trajanja svi zainteresirani mogu svoja mišljenja, primjedbe i prijedloge dostavljati putem elektroničke pošte na adresu puvp@mrrsvg.hr. Nakon provedene javne rasprave i strateške procjene utjecaja na okoliš, nacrt dokumenta će se uskladiti i potkraj 2011. godine će se uputiti Vladi Republike Hrvatske na donošenje.

Dostava podataka i informacija iz Plana upravljanja vodnim područjima u Informacijski sustav voda Europske komisije obavljati će se nakon što dokument bude donešen

od strane Vlade Republike Hrvatske, a odvijati će se u suradnji s Agencijom za zaštitu okoliša koja je u ime Republike Hrvatske ovlaštena za službene komunikacije s Informacijskim sustavom zaštite okoliša Europske komisije.

LITERATURA

[1] Okvirna direktiva o vodama, (2000/60/EZ).

[2] Strategija upravljanja vodama, ("Narodne novine", br. 91/08).

[3] Zakon o vodama, ("Narodne novine", br. 153/09).

AUTORI

dr. sc. Danko Biondić [a]
mr. sc. Sanja Barbalić [b]

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, (danko.biondic@voda.hr)

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, (sanja.barbalic@voda.hr)

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

P 04.

POTENTIAL NEAR FUTURE RUNOFF CHANGES IN CROATIA

Ivan Güttler, Dušan Trninić, Tomislava Bošnjak, Lidija Srnec, Mirta Patarčić, Čedo Branković

SUMMARY: The Regional Climate Model (RegCM3) is used to dynamically downscale three realisations of present (1961-1990) and future climates (2011-2040) as defined by EH5OM global climate model. For future climate the IPCC A2 high forcing scenario is used. RegCM3 domain covers a large part of Europe and the Mediterranean basin with 35 km horizontal spatial step. Focus of analysis is simulated surface runoff over Croatia and its neighbourhood in present and future climates. Derived surface runoff from measurements of water level in the hydrological network of Meteorological and Hydrological Service of Croatia (DHMZ) is also analyzed for the present climate. The near-future changes in runoff can be associated with the changes in total precipitation and temperature. Seasonal and spatial variability in magnitude and sign of future changes in runoff are identified.

KEYWORDS: regional climate model, surface runoff, climate change

MOGUĆE PROMJENE OTJECANJA U BLISKOJ BUDUĆNOSTI U HRVATSKOJ

SAŽETAK: Tri člana ansambla simulacija sadašnje klime (1961-1990) i klime u bliskoj budućnosti (2011-2040) globalnog klimatskog modela EH5OM korištena su za dinamičku prilagodbu regionalnim klimatskim modelom RegCM3 s prostornim korakom od 35 km iznad širokog dijela Europe i Mediterana. Za buduću klimu korišten je IPCC klimatski scenarij A2 koji uključuje visoke koncentracije stakleničkih plinova. Fokus analize je simulirano površinsko otjecanje na području Hrvatske i okolnih zemalja u sadašnjoj i budućoj klimi. Također je analizirano površinsko otjecanje izvedeno iz mjerenja vodostaja u hidrološkoj mreži Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Promjene u otjecanju u bliskoj budućnosti moguće je povezati s promjenama u ukupnoj količini oborine i temperaturi. Prisutna je sezonska i prostorna varijabilnost u iznosu i predznaku promjena otjecanja.

KLJUČNE RIJEČI: regionalni klimatski model, površinsko otjecanje, klimatske promjene

1. INTRODUCTION

Regional or local climate is a result of interplay between parts of the Earth climate system on the time-scale of few decades. One way to describe, simulate and predict climate on regional spatial scales is by using regional climate models (RCMs). RCMs are being used in the last two decades and have many features in common with limited area numerical weather prediction models. They enable to dynamically downscale the results of global climate models (GCMs) and provide climate information at higher spatial resolution than normally found in GCMs. In general, current GCMs have spatial resolution of approximately 150-250 km and RCMs of about 20-50 km.

When validating a RCM one compares a variable in dynamically consistent simulation with corresponding observation. The three "types" of variables may be considered: (1) state variables (e.g. near-surface temperature and precipitation), (2) process variables (e.g. heat flux) and (3) integrative variables (e.g. runoff). In a recent review, Rummukainen (2010) emphasised the need to evaluate models more in terms of integrative metrics, such as river runoff, than state variables. This can be expanded to include surface runoff as in this study. In practice, however, additional postproccessing of the modelled data might be needed in order to have comparable variables in simulated and observed datasets.

There are examples of surface runoff analysis in RCM framework in the last decade. Hagemann et al. (2009) analyzed runoff changes from three IPCC scenarios (Nakićenović et al. 2000) in GCM EH5OM and RCM REMO and found a significant reduction in summer runoff for the Danube catchment in the period 2071-2100 relative to 1961-1990, primarily as a consequence of the decrease in total precipitation. Rauscher et al. (2008) compared the timing of a specific runoff event in RCM RegCM3 (Pal et al. 2007) and observations, and analyzed climate change between the periods 1961-1989 and 2071-2099. In their study, the increase in total precipitation and snow melt (due to a general increase of surface temperature in the A2 scenario) contributed to an increase of surface runoff in mountainous region over western U.S. In this study, we focus to a future period much closer than those in the above studies, when care is needed in the interpretation of results since the signal of climate change can be similar in magnitude to internal variability of climate system.

On the other hand, river discharge and surface runoff can by analyzed in context of available measurements. At DHMZ there are examples of this type of analysis done for meteorological and hydrological stations in Croatia. Pandžić and Trninić (1998) documented a strong dependence of river discharge to temperature and precipitation for stations in the river Sava catchment (partly included in the domain in this study). Gajić-Čapka and Cesarec (2010) analyzed trends and variability of river discharge and climatological parameters for stations in the river Drava catchment. Pandžić et al. (2009) estimated water balance components for several meteorological stations in Croatia using Palmer (1965) method. Palmer method was also applied in detailed analysis of water balance components for stations in coastal Croatia in e.g. Pandžić (1985), Pandžić and Trninić (2004), Zaninović and Gajić-Čapka (2005) and Gajić-Čapka and Zaninović (2006) and for stations in continental Croatia in e.g. Zaninović and Gajić-Čapka (2000), Gajić-Čapka and Zaninović (2004) and Pandžić and Trninić (2004). Additionally, Pandžić et al. (2009) used hydrological measurements of river discharge at two locations on river Sava. In their study, surface runoff estimated using Palmer method for Zagreb-Grič meteorological sta-

tion was shown to be significantly correlated to the real river discharge measurements on annual time-scale at the Zagreb-Sava hydrological station (their Fig. 16). This partially forms a basis for this study where simulated surface runoff (similar in definition to surface runoff in Palmer method) is analyzed together with derived surface runoff from the water level measurements in the DHMZ hydrological network.

In general, higher level of comparability in the RCM framework between modelled and observed hydrological quantities can be obtained by direct comparison of modelled and observed river discharge when coupling RCM with hydrological model as in e.g. Samuels et al. (2010) and Andersson et al. (2011). However, open issues in the process of linking RCM and other downscaling techniques to hydrological models are presented in the review paper by Fowler et al. (2007). Our aim here was to explore what are possibilities in validating surface runoff in RegCM3 simulations in the context of available observations and observation-derived quantities at DHMZ.

The structure of this study is following: we first compare seasonal means of surface runoff and the structure of annual cycle of surface runoff and total precipitation in simulations and observations; after that, climate change in runoff, total precipitation and upper layer soil water between the current and future climate periods is analyzed.

2. METHOD

Simulations of EH5OM GCM were dynamically downscaled by using RegCM3 for the two periods: the near-present period P0, 1961-1990, and the near-future period P1, 2011-2040. Three ensemble members were downscaled in order to take into account internal variability of climate system. During P0, EH5OM used observed aerosol and greenhouse gasses (GHG) concentrations, while for P1 the IPCC A2 scenario was applied. Although A2 is a high forcing scenario, during the first decades of the 21st century all IPCC scenarios have similar concentrations of GHG, and dominant source of uncertainty are initial conditions (Hawkins and Sutton, 2009). For the discussion of EH5OM simulations the reader is referred to e.g. Branković et al. (2010) and for climatological analysis of RegCM3 simulations to Branković et al. (2011). Surface runoff in RegCM3 is computed within the BATS land-surface scheme (Dickinson et al., 1993) and it is a function of precipitation rate and soil water content relative to saturation. It is calculated for each time step and there is no communication between the adjacent cells over land. Mean monthly surface runoff for P0 period derived from observed water level at DHMZ hydrological stations is defined as a layer of water that flows over catchment area in specified time interval (e.g. Jevđević, 1956).

RegCM3 grid cells and topography over Croatia and the location of DHMZ hydrological stations are shown in Fig. 1. Clearly, model topography on this spatial resolution resembles only roughly to true topography. Due to relatively crude land surface scheme and inadequate resolution of topography (RCM domain is divided into 35 x 35 km grid cells), it is not expected to reach the full realism in simulated surface runoff. Estimates of runoff from local observations and RCM simulations in this study cannot be compared directly because surface runoff in RegCM represents average conditions in a grid cell 35 x 35 km, while surface runoff derived from local observations of water level represents mean conditions on river catchment from the river source up to the location of hydrologi-

cal station. Nevertheless, this type of analysis can provide an insight into how surface runoff is related to e.g. precipitation features in both simulation and reality.

3. RESULTS

3.1. Seasonal sums of surface runoff

Seasons in following discussion are defined as follows: DJF is December-January-February, MAM is March-April-May, JJA is June-July-August and SON is September-October-November. Ensemble-mean seasonal sums of surface runoff simulated by RegCM3 are shown in Fig. 2. Seasonal sums of runoff in the model can reach up to 400 mm during DJF in the mountainous region near the coast and even higher values in the Alpine region during MAM. DHMZ estimates of seasonal runoff sums are shown in Fig. 3 and are around 100-200 mm on average in the continental Croatia, but can reach more than 1000 mm for stations in the mountainous region. The two typical regions are seen in Fig. 2 and Fig. 3: (1) the continental part of Croatia with a rather homogenous simulated and derived runoff; (2) the coastal and mountainous part of Croatia where model and observations show high spatial variability. In general, the lowest amount of surface runoff is found in JJA in both model and observations. In the region shown in Fig 1., one can also detect

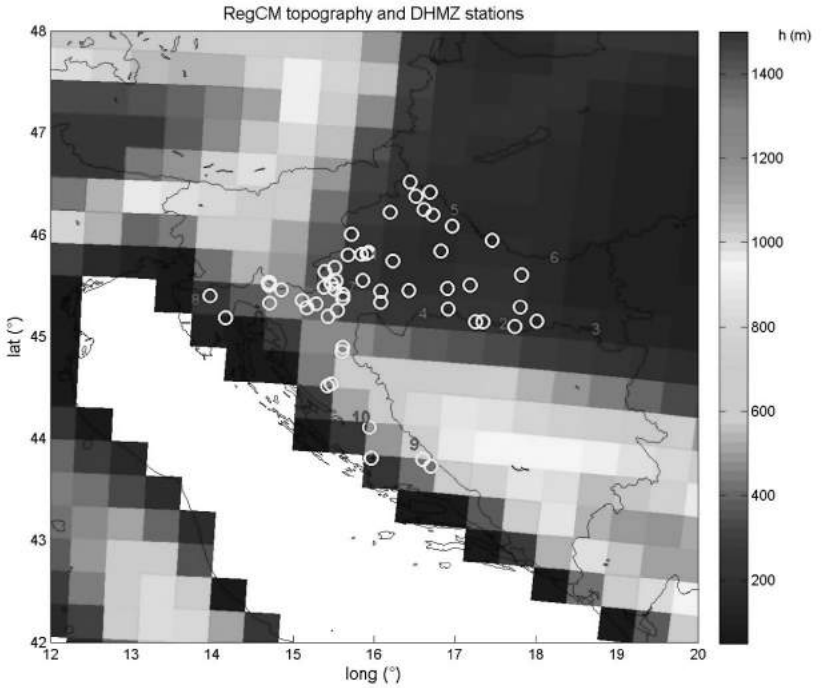


Figure 1: Topography in RegCM3 subdomain and DHMZ hydrological stations. Yellow circles and red numbers denote DHMZ stations, where numbers in red are stations for which monthly data are analyzed: 1 Sava Zagreb, 2 Sava Davor, 3 Sava Županja, 4 Una Kostajnica, 5 Drava Botovo, 6 Drava Donji Miholjac, 7 Kupa Rečica II, 8 Mirna Portonski most, 9 Cetina Vinalić, 10 Zrmanja Jankovića Buk

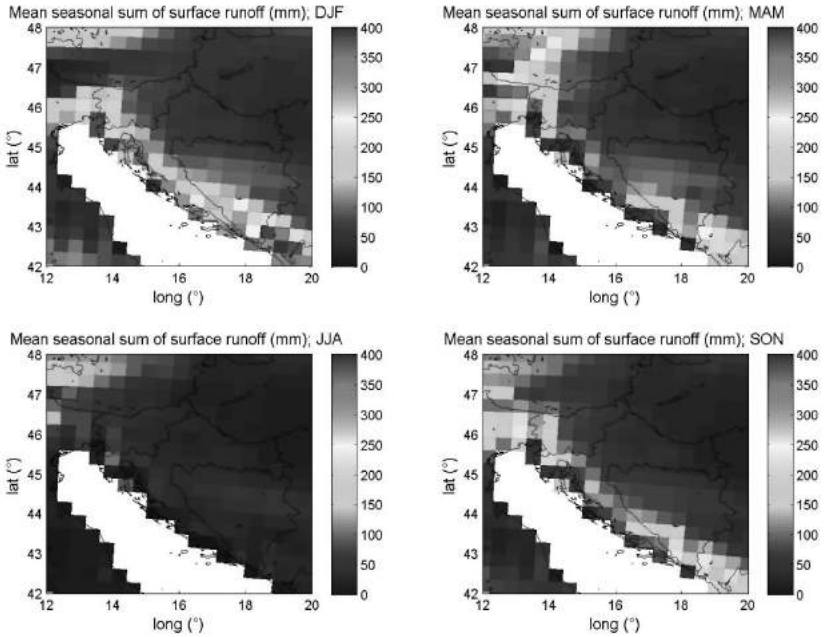


Figure 2: Mean seasonal sums of surface runoff simulated by RegCM3 for present climate (1961-1990).

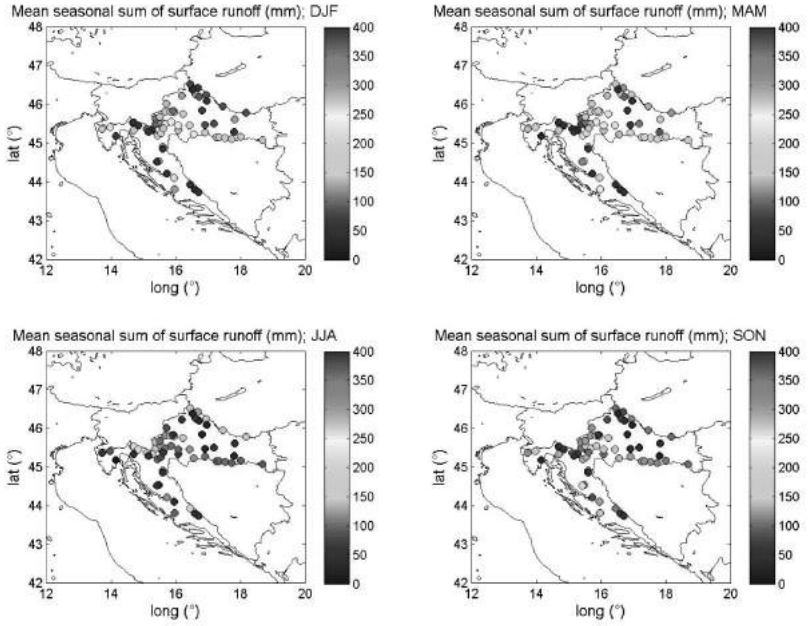


Figure 3: Mean seasonal sums of derived surface runoff from DHMZ measurements for present climate (1961-1990).

two specific regions: (1) south-eastern part of the domain with high runoff values during DJF and SON, associated with precipitation maxima - this is a climatological feature in both observations (Zaninović et al. 2008) and this experiment (Branković et al. 2011); (2) north-western part of the domain with high runoff values during MAM, associated with snow melt. Differences between two datasets in amount of surface runoff are discussed in the following subsection.

3.2. Monthly amounts of surface runoff and precipitation

For selected locations, representing various regions in Croatia, derived surface runoff is shown together with RegCM3 grid-cell values on monthly time scale (Fig. 4). In general, model simulated phases of surface runoff annual cycle are similar to those in derived surface runoff. For DHMZ estimate (open circles) the two types of mean annual cycle can be seen: (1) minimum runoff is in (late) summer, between high runoff in spring due to snow melt and high runoff in autumn due to the maximum in total precipitation (for all stations except for those at the river Drava), (2) the minimum runoff during winter (only for the Drava stations). The river Drava discharge is strongly influenced by snow melt in the Alpine region and this partially causes a distinct shape in annual cycle of surface runoff. RegCM3 is, however, unable to correctly reproduce this feature. For the first type of annual cycle, secondary minimum appears in winter. In RegCM3 simulations, all grid cells show runoff features as in the first type and are similar to surface runoff given by Palmer method as in Gajić-Čapka and Zaninović (2003) and Zaninović and Gajić-Čapka (2005).

Model simulated annual cycle of total precipitation is compared to measurements at meteorological stations in DHMZ network that are near corresponding hydrological stations. For most stations model displays dry bias during summer. This can be partially attributed to model's low resolution, which is unable to resolve details of topography at local sites, and partially to the impact of parameterizations of unresolved processes, such as convection. This type of limitation is common to many RCM verification studies (e.g. Moberg and Jones 2004). The comparison between simulated RegCM3 precipitation and CRU gridded observations (New et al. 2002) also reveals negative precipitation biases for central and coastal Croatia (Branković et al. 2011, their Fig 4.). However, the summer drying problem is not limited to RegCM3 but is also found in many other RCMs for the southeastern Europe (Hagemann et al., 2004). On the other hand, for the Pazin station the model is able to simulate observed total precipitation fairly well in terms of both the amplitude and the shape of annual cycle. The problem of dry bias can influence ability of land surface scheme to correctly simulate surface runoff. This is however not the main source of differences in surface runoff in the two datasets. The differences in simulated and derived surface runoff lie primarily in the area average they represent as was emphasized in section 2.

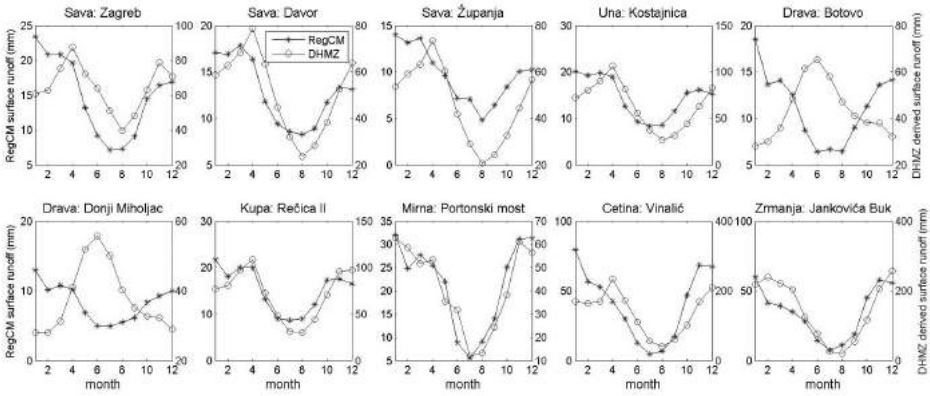


Figure 4: Ensemble-mean monthly sums of simulated surface runoff (blue) and derived surface runoff from water level measurements (green) for the period 1961-1990. There are y-axes for each dataset.

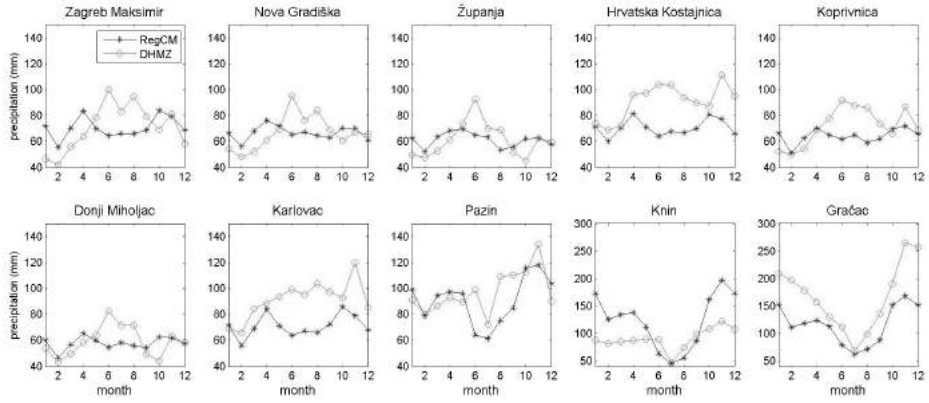


Figure 5: Ensemble-mean monthly simulated precipitation (blue) and observed precipitation (green) for the period 1961-1990. Model values are for grid points as in Fig. 4. DHMZ meteorological stations are those relative close to hydrological stations in Fig. 4. Climatology for station Hrvatska Kostajnica is available for the period 1964-1987 and for station Nova Gradiška for the period 1963-1990.

3.3. Climate change

Climate change in all seasons between the two periods, P0 and P1, is shown for surface runoff, total precipitation and upper soil water content in Fig. 6. Although the model underestimates precipitation amount in present climate, similar to Räisänen (2007) the delta change method is applied. It is based on the assumption that biases in present and future climates tend to cancel each other when the difference between the two climates is analyzed.

During DJF, a weak increase in runoff over much of Croatia is seen, but with some reduction in the central and nortwestern parts. To the west, in the eastern Alpine region,

precipitation is not significantly changed, but climate change is dominated by an increase in near-surface temperature of about 0.5°C (Branković et al. 2011). This might imply that the partitioning between solid (snow) and liquid (rain) precipitation is shifted towards rain, thus effecting an increase in runoff and soil moisture. In the eastern part of the do-

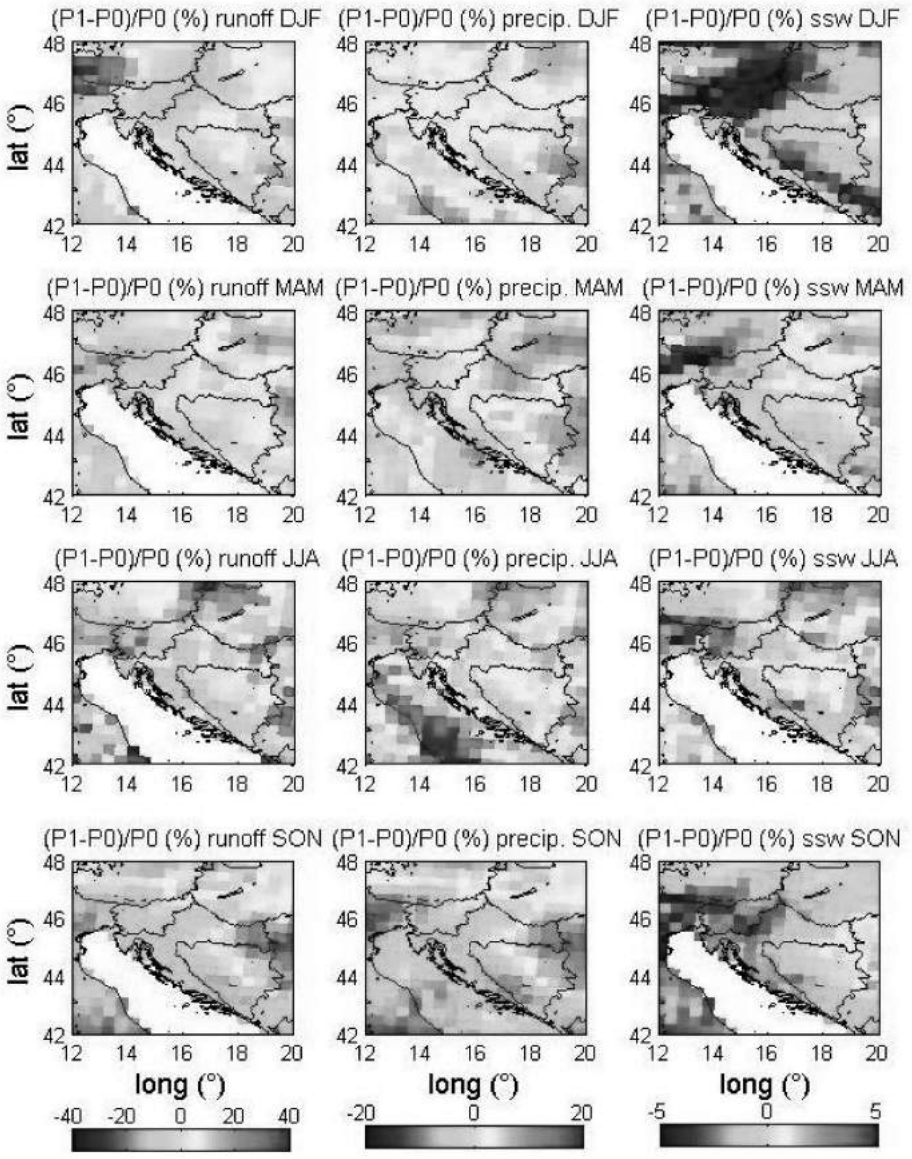


Figure 6: Climatic change in P1 relative to P0 for surface runoff (left column), total precipitation (middle column) and upper layer soil water (right column) for all seasons. P0 represents the period 1961-1990, and P1 is the period 2011-2040.

main, an increase in precipitation acts directly as to increase runoff. However, the amount of soil water is not much changed or it is even slightly reduced, probably because the soil, in this predominatly flat terrain, is nearly saturated. Of course, the changes in climate over Croatia are connected with broader, regional-scale features.

During MAM and JJA an increase in precipitation and runoff is simulated over continental Croatia. For the coastal part no clear picture emerges due to high spatial variability of changes in both fields.

During SON, the sign of the surface runoff change is again the same as the sign of precipitation change: an increase in the eastern part of the domain and a decrease in the coastal region. The change of the same sign is also detected in the upper-layer soil water. A reduction of precipitation in the south and an increase in the north could be indicative of changes in circulation pattern that would be more pronounced during the late 21st century in climate scenarios including increase of greenhouse gases concentrations (e.g. Giorgi and Coppola 2007).

CONCLUSION

The results from the RegCM3 climate model integrations were used to study climatological statistics of surface runoff on monthly and seasonal timescales over a regional spatial domain. The typical annual cycle of surface runoff with the minimum during the warm part of the year is simulated in this experiment and closely resembles to the one found in the studies that applied Palmer method to observational data.

Climate change in surface runoff is strongly influenced by the snow and precipitation changes. In the context of previous climatological analyses of the same experiment, the following picture emerges: changes in snow are strongly affected by an increase in the near-surface temperature, and changes in precipitation are linked to changes in the upper-air circulation.

Future research might include RCM simulations with e.g. higher spatial resolution, different land surface schemes or an offline coupling with a river-resolving hydrological model. The latter, with directly simulated river discharge, would enable a closer comparison of simulation with the available observational data from the DHMZ hydrological network.

Acknowledgments

The work of Ivan Güttler was supported by the Croatian Ministry of science, education and sports project 004-1193086-3035. Authors want to thank Marjana Gajić-Čapka for comments that improved the draft version of this paper.

REFERENCES

[1] Andersson L., Samuelsson P., Kjellström E., (2011): *Assessment of climate change impact on water resources in the Pungwe river basin*, Tellus, 63A, 138-157.

[2] Branković Č., Srnec L., Patarčić M., (2010): *An assessment of global and regional climate change based on the EH5OM climate model ensemble*, Climatic Change, 98, 21-49.

[3] Branković Č., Patarčić M., Güttler I., Srnec L., (2011): *Near-future European climate change in an ensemble of regional climate model simulations*, submitted to Climate Research.

[4] Dickinson R. E., Henderson-Sellers A., Kennedy P. J., (1993): *Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model*, NCAR Tech. Note NCAR/TN-387+STR, NCAR, Boulder, Colorado, USA, 152 pp.

[5] Fowler H. J., Blenkinsop S., Tebaldi C., (2007): *Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling*, Int. J. Climatol., 27, 1547-1578.

[6] Gajić-Čapka M., Zaninović K., (2004): *Klimatske prilike slivova Save, Drave i Dunava*, Hrvat. vode, 49, 297-406.

[7] Gajić-Čapka M., Zaninović K., (2006): *Long-Term Trends in Temperature, Precipitation and Runoff at the Croatian Eastern Adriatic Coast*, BALWOIS 2006, Ohrid, Macedonia, 23-26 May 2006, Abstracts, 46 i CD-papers, FP-252.

[8] Gajić-Čapka M., Cesarec K., (2010): *Trend i varijabilnost protoka i klimatskih veličina u slivu rijeke Drave*, Hrvat. vode, 71, 19-30.

[9] Giorgi F., Coppola E., (2007): *European climate-change oscillation (ECO)*, Geophys. Res. Lett., 34, L21703, doi:10.1029/2007GL031223.

[10] Hagemann S., Machenhauer B., Jones R., Christensen O. B., Déqué M., Jacob D., Vidale P. L., (2004): *Evaluation of water and energy budgets in regional climate models applied over Europe*, Clim. Dyn., 23, 547-567, doi: 10.1007/s00382-004-0444-7.

[11] Hagemann S., Göttel H., Jacob D., Lorenz P., Roeckner E., (2009): *Improved regional scale processes reflected in projected hydrological changes over large European catchments*, Clim. Dyn., 32, 767-781, doi: 10.1007/s00382-008-0403-9.

[12] Hawkins E., Sutton R., (2009): *The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions*, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 90, 1095-1107.

[13] Jevđević, V. (1956): *Hidrologija 1.,dio*, J. Černi, Beograd 403 pp.

[14] Moberg A., Jones P. D., (2004): *Regional climate model simulations of daily maximum and minimum near-surface temperatures across Europe compared with observed station data 1961-1990*, Clim. Dyn., 23, 695-715.

[15] Nakićenović N. and 27 co-authors, (2000): *Special report on emission scenarios*. A special report of working group III of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, 599 pp.

[16] New M., Lister D., Hulme M., Makin I., (2002): *A high-resolution data set of surface climate over global land areas*, Clim. Res., 21, 1-25.

[17] Pal J. and 19 coauthors, (2007): *Regional climate modeling for the developing world. The ICTP RegCM3 and RegCNET*, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 88, 1395-1409.

[18] Palmer C. W., (1965): *Meteorological drought*. U.S. Department of Commerce, Washington, Research Paper No. 45, 58 pp.

[20] Pandžić K., (1985): *Bilanca vode na istočnom primorju Jadrana*, Rasprave, 20, 21-29.

[21] Pandžić K., Trninić D., (1998): *The Relationship Between the Sava River Basin Annual Precipitation, its Discharge and the Large-Scale Atmospheric Circulation*, Theor. Appl. Climatol., 61, 69-76.

[22] Pandžić K., Trninić D., (2004): *Comparison of Several Hydrological Cycle Parameters in Croatia for Two Periods*, Proceedings Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS 2004, Ohrid, FY Republic of Macedonia, 25-29 May 2004, CD-ROM, 3, sum.

[23] Pandžić K., Trninić D., Likso T., Bošnjak T., (2009): *Long-term variations in water balance components for Croatia*, Theor. Appl. Climatol., 95, 39-51.

[24] Räisänen J., (2007): *How reliable are climate models?*, Tellus, 59A, 2-29.

[25] Rauscher S. A., Pal J. S., Diffenbaugh N.S., Benedetti M. M., (2008): *Future changes in snowmelt-driven runoff timing over the western US*, Geophys. Res. Lett., 35, L16703, doi:10.1029/2008GL034424.

[26] Rummukainen M., (2010): *State-of-the-art with regional climate models*, WIREs Climate Change, 1, 82-96.

[27] Samuels R., Rimmer A., Hartmann A., Krichak S., Alpert P., (2010): *Climate Change Impact on Jordan River Flow: Downscaling Application from a Regional Climate Model*, J. Hydrol., 11, 860-879.

[28] Zaninović K., Gajič-Čapka M., (2000): *Changes in Components of the Water Balance in the Croatian Lowlands*, Theor. Appl. Climatol., 65(1-2), 111-117.

[29] Zaninović K., Gajić-Čapka M., (2005): *Klimatske prilike Jadranskih slivova*, Hrvat. vode, 50, 1-14.

[30] Zaninović K., Gajić-Čapka M., Perčec Tadić M. et al., (2008) *Klimatski atlas Hrvatske, Climate atlas of Croatia, 1961-1990, 1971-2000*. DHMZ, Zagreb, 200 pp.

AUTORI

Ivan Güttler, dipl.ing. [a]
dr.sc. Dušan Trninić [a]
Tomislava Bošnjak, ing. [a]
mr. sc. Lidija Srnec [a]
mr. sc. Mirta Patarčić [a]
dr.sc. Čedo Branković [a]

[a] Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska, guettler@cirus.dhz.hr, trninic@cirus.dhz.hr, bosnjak@cirus.dhz.hr, srnec@cirus.dhz.hr, patarcic@cirus.dhz.hr, brankovic@cirus.dhz.hr

TEMA 1.

STANJE VODA I O VODI OVISNIH EKOSUSTAVA, HIDROLOŠKI EKSTREMI I NJIHOVE POSLJEDICE, TRENDOVI - OBORINE, KOPNENE POVRŠINSKE VODE, PODZEMNE VODE, PRIJELAZNE VODE I PRIOBALNO MORE

Recenzenti:

Mara Artuković, Sanja Barbalić, Nenad Domijan, Anita Filipčić, Marjana Gajić - Čapka, Marko Josipović, Zlatica Kozarac, Grozdan Kušpilić, Ozren Larva, Nenad Leder, Vladimir Mićović, Zlatko Mihaljević, Zoran Nakić, Nevenka Ožanić, Mladen Petričec, Anđelka Plenković - Moraj, Jasna Šoštarić, Lidija Tadić, Dušan Trninić, Elvira Vidović, Damir Viličić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić, Ranko Žugaj

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.01.

KLIMATSKE PROMJENE I VODA

Marija Beraković, Boris Beraković

SAŽETAK: U radu su prikazane promjene klimatskih elemenata i njihov utjecaj na vode u Hrvatskoj. Težište je na godišnjim temperaturama zraka te oborinama i njihovoj promjeni unutar godine. U zaključku se ukazuje na važnost i nužnost kvalitetnih i kontinuiranih meteoroloških i hidroloških opažanja i mjerenja.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske promjene, temperature, oborine, isparavanje, sunce, protok.

CLIMATE CHANGES AND WATER

SUMMARY: The paper presents changes in climate elements and their impact on waters in Croatia. The focus is on annual air temperatures and precipitation and its changes within a year. The conclusion indicates the importance and necessity of quality, continuous meteorological and hydrological observations and monitoring.

KEY WORDS: climate changes, temperature, precipitation, evaporation, sun, discharge.

1. UVOD

Mjerenja u posljednjim desetljećima neosporno ukazuju na promjene klime. Kako su vode direktno povezane s klimom tako svaka promjena klime mijenja i režim voda. Globalna promjena atmosfere djeluje na cijeli vodni ciklus. Zagrijavanje ubrzava isparavanje i mijenja režim oborina, uvjetuje preraspodjelu kopnene vode i niz drugih teško predvidivih pojava.

Neizvjesno je kako će izgledati Zemlja ako se znatnije promjeni klima i zbog porasta temperature počnu iščezavati ledenjaci, te ogromne zarobljene količine slatke vode u polarnim predjelima. U prošlom stoljeću oceani su narasli gotovo za dvadeset centimetara.

U prošlom stoljeću, u najtoplijoj 1998. godini oluje, poplave, suše i požari uništili su domove milijuna ljudi i izazvali ogromne materijalne štete. Sezona uragana bila je najstrašnija u posljednjih dvjesto godina. Uragan Mitch odnio je više od 10.000 života u Srednjoj Americi, jake suše i toplinski valovi opustošili su Teksas, valovi visoki deset metara udarali su o zapadnu obali Amerike, rijeka Jangce u Kini poplavila je svoj okoliš i 230 milijuna ljudi ostavila bez domova, a naslage leda prekinule su električne žice i četiri milijuna ljudi ostalo je bez struje u jednoj od najgorih katastrofa ikad pogođenoj u Kanadi. Sve te strahote, daleko od nas, gledali smo na našim TV ekranima.

Promjenom okoline, sječom šuma, stvaranjem kiselih kiša i svim vrstama zagađenosti u prirodi stvara se lančana reakcija koju često ne sagledavamo a i nismo u stanju predvidjeti. Predviđa li se što će biti s Gorkim kotarom i sve kiselijim kišama koje uništavaju šumu, tlo, vodu i živi svijet u njemu? U ovom orografski i geografski specifičnom području sliju se ogromne količine oborina.

2. ŠTO NAM DONOSE KLIMATSKE PROMJENE

Danas znanost nije u stanju dovoljno sagledati probleme koji su posljedica povezanosti raznih prirodnih pojava. Teško je procijeniti što bi problem klimatskih promjena u cjelini trebao značiti za širu javnost i što bi trebalo poduzeti da se ublaže posljedice najavljujućih promjena. Mnogo toga ne mogu predvidjeti niti veliki znanstveni, sve složeniji, modeli s mnoštvom pojedinosti, koji se sve intenzivnije razvijaju. Gotovo je nemoguće u model ugraditi, još manje i previdjeti bezbroj međusobnih interakcija u atmosferi i u oceanu.

Promjena prosječnih globalnih temperatura može bitno utjecati na klimatske zakonitosti, što se i na našim prostorima uočava. Promjena klimatskih zakonitosti može neočekivano utjecati na raspored oborina u prostoru i u vremenu, na snagu oluja i suša, na smjer glavnih vjetrova i morskih struja, te pojavu lokalnih vremenskih uvjeta, s **krajnostima topline i hladnoće**. Primjer ovoga je temperatura zraka u Gospiću. Najveći dio apsolutno maksimalnih mjesečnih temperatura zabilježen je u posljednjim desetljećima razdoblja 1961-2005. godine, ali i nekoliko apsolutnih minimuma. Generalni porast temperature zraka nije povisio i minimalne ekstreme, nego su se oni čak i snizili. U Gospiću je zabilježen apsolutni minimum (1961-2005.) za mjesec **ožujak** u 2005. godini i iznosio je **-23,6 °C**, a u svibnju je već zabilježen apsolutni maksimum od **29,8 °C.** U 2003. godini zabilježen je apsolutni minimum u **travnju** od **-9,8 °C**, a u **listopadu -8,1 °C,** a u lipnju je apsolutni maksimum bio **33,9 °C**. Upravo 2003. godina, a i 2005., sadrže za pojedine mjesece apsolutne maksimalne, a za pojedine mjesece apsolutne minimalne ekstreme. Negativni ekstremi su unutar vegetacijskog razdoblja.

Velika nepoznanica i neizvjesnost je što donose klimatske promjene. Globalno zagrijavanje koje se predviđa bitno bi promijenilo režim svih voda: oborina, mora, oceana, rijeka. Prema prognozama Međuvladina komisije za klimatske promjene, IPCC-a (The Intergavernmental Panel on Climate Change) u Bankoku 2007. godine, temperatura bi se na Zemlji mogla do kraja stoljeća povisiti za 6,4 °C. Međutim svaki prosjek skriva u sebi i krajnosti, što pokazuje spomenuti slučaj Gospića. Posebno je nepovoljno povećanje broja dana s temperaturom iznad 30 i 35° C. Pojavljuju se maksimumi kojih prije nije bilo (Pag iznad 36, max 40,4 °C). Veći je broj dana kada se temperatura zraka ne spušta ispod nekih referentnih visokih temperatura. To u posljednjim desetljećima svi osjećamo. Dani visokih temperatura sve su brojniji.

Bez obzira da li su klimatske promjene posljedica djelovanja čovjeka ili su dio prirodnog ciklusa, oko čega se znanstvenici spore, sigurno je da se nalazimo u razdoblju sustavnih klimatskih promjena. Temperatura je samo jedan od pokazatelja bitnih promjena koje utječu i na promjene odnosa između oceana i atmosfere izazivajući opću preraspodjelu voda.

I pored učestalih upozorenja svjetske znanstvene zajednice da se zbivaju dramatične promjene globalne klime, poduzima se vrlo malo da bi se spriječili glavni uzroci nadolazeće katastrofe, ako je čovjek uzročnik klimatskih promjena. Glavni tajnik UN-a, Ban Ki-moon na zasjedanju IPCC-a u studenom 2007. godine u Valenciji je izjavio: ‘’Svijet je

na rubu propasti! Stanje Zemlje je gore od znanstvene fantastike!'' Moglo bi se reći na rubu smo propasti ne samo zbog klimatskih promjena nego i zbog sveukupnih zagađenja prirode, hrane, zraka, vode, misli…

3. KLIMATSKE PROMJENE U HRVATSKOJ

Globalne klimatske promjene nisu zaobišle ni Hrvatsku. Najuočljivije su kod temperature zraka i oborina, ali prisutne su i kod drugih klimatskih elemenata. Te promjene se neminovno odražavaju na promjenu režim voda. Temperatura zraka pokazuje sustavno povećanje. Oborine značajno mijenjaju svoj vremenski raspored.

U radu se razmatraju dva karakteristična područja: područje s utjecajem sredozemne klime na kojem veći dio oborine padne u hladnom dijelu godine i područje s kontinentalnom klimom gdje veći dio oborina padne u toplom dijelu godine. Iako je dio pod utjecajem Mediterana odvojen od primorskog dijela planinskim lancem Velebita ipak je u njemu prisutan utjecaj sredozemne klime. Područje pod utjecajem sredozemne klime ima znatno veće oborine nego kontinentalni dio Hrvatske i prosječno godišnje u Primorju iznose od 1300 (Pag oko 1050 mm) do 1400 mm, a u Lici od 1200 (dio Gackog i Krbavskog polja oko 1100) do 3500 mm (južni Velebit). Između 40 i 45 % ukupne godišnje oborine padne u toplom dijelu godine (travanj-rujan). U Gospiću je to prosječno 43 %, Baškim Oštarijama 40 %, Ličkom Lešću 43 %, Pagu 41 %, a u Lovincu 39 %. Veći dio oborine padne u hladnom dijelu godine. U kontinentalnom dijelu Hrvatske prosječne godišnje oborine kreću se između 700 i 1200 mm. U razdoblju vegetacije (travanj-rujan) padne između 55 i 56 % od ukupne godišnje oborine.

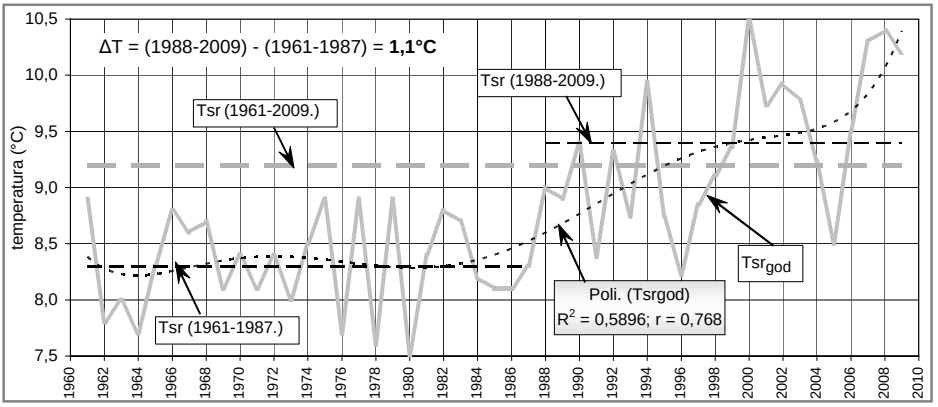
Mediteranski utjecaj proteže se približno do Velike i Male Kapele, te Plješivice. Znači između ovih planinskih lanaca i Velebita prevladava utjecaj mediteranske klime. Na graničnom području ovih dvaju klimata odnos oborina hladnog i toplog dijela godine u ukupnoj godišnjoj oborini je približno 50 %. Pa tako primjerice u Ličkom Petrovom selu, koje je iza Plješivice prema kontinentalnom području, padne 50 % oborine u toplom dijelu godine a 50 % u hladnom. Isto je na Prijeboju i Vrelu Korenice koji se nalaze između Male Kapele i Plješivice. U Dabru i Jezeranama 49 % oborine padne u toplom dijelu godine.

3.1 Promjena temperature

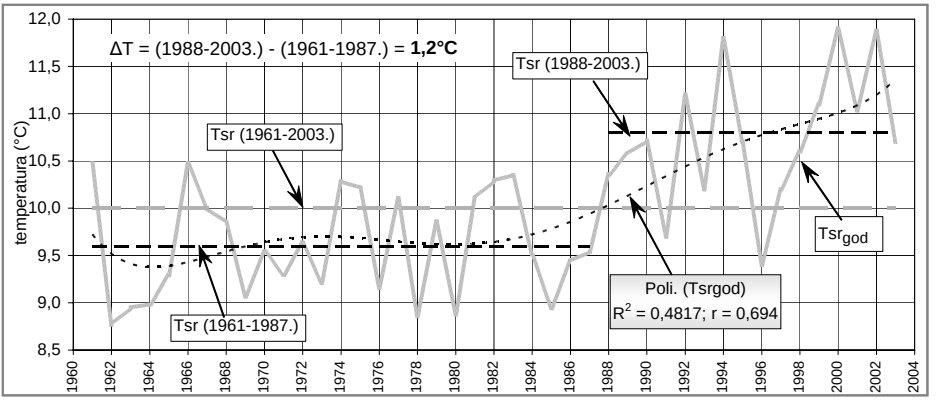
Globalna promjena temperature utječe i na globalnu promjenu klime. Promjena temperature zraka utječe na toplinsko stanje zračnih masa i na kretanje vode u atmosferi, tlu i biljci, a time i na raspored oborina u prostoru i vremenu.

Istraživanja provedena za razdoblje 1961-2005.(2003.) godine pokazala su da je na području Hrvatske do sustavnih promjena temperature zraka došlo oko 1988. godine (Beraković M., 2006., 2008.). Kretanje srednjih godišnjih temperatura zraka prikazano je na odabranim klimatskim postajama Gospić (slika 1) koja je pod utjecajem mediteranske klime i postaji Đurđevac (slika 2) u kontinentalnom dijelu Hrvatske. Slično kretanje je i na ostalim klimatskim postajama. Na crtežima su prikazani i prosjeci za cijelo razmatrano razdoblje i za razdoblje prije i poslije promjena. Zanimljivo je da je **prosjek** za razdoblje od 1988-2005. godine **veći od bilo koje pojedinačne srednje najtoplije godine** u razdoblju 1961-1987. Porast prosječne godišnje temperature u Gospiću od 1988-2005 godine je 0,9 °C što iznosi 0,05 °C/godišnje. Od 1988-2009. godine porast temperature

je 1,1 °C. Za četiri godine (2005-2009.) taj porast je 0,2 °C. Kada bi se ovakav trend nastavio tada bi prosječni godišnji porast temperature na području Gospića do 2100. godine iznosio 5,7 °C, približno procijeni IPCC-a. Porast temperature u razdoblju 1988-2005. godine iznosio je za klimatske postaje: Senj i Ličko Lešće 0,8 °C, Baške Oštarije 0,6 °C, a za Lovinac i Pag 0,5 °C. U kontinentalnom području taj porast je bio za Đurđevac 1,2 °C, a za Donji Miholjac 0,9 °C. Kada bi se porast prosječnih godišnjih temperatura za Đurđevac nastavio istim intenzitetom kao od 1988-2003. godine tada bi do 2100. godine iznosio čak 7,5 °C, a za Donji Miholjac 5,6 °C. Temperature su porasle u svim mjesecima, osim u rujnu, a najviše su porasle u siječnju i kolovozu. Sve je manja razlika prosječnih temperatura između kolovoza i najtoplijeg mjeseca srpnja.



Slika 1. Gospić: Srednje godišnje temperature zraka



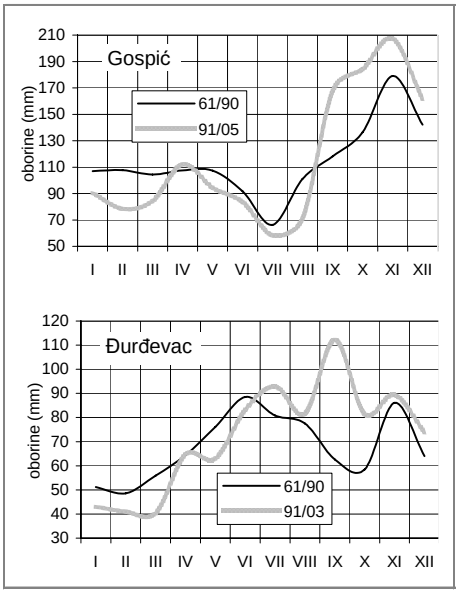
Slika 2. Đurđevac: Srednje godišnje temperature zraka

Globalne temperature i dalje rastu pa se stalno pojavljuje nova najtoplija godina i nadmašuje prethodnu najtopliju godini. Tako je u prošlom stoljeću najtoplija bila 1998. godina, onda je postala najtoplija 2002., pa 2003. i tada je 1998. godina postala treća po redu najtoplija. I tako su se redom smjenjivale najtoplije godine. Sada je već Svjetska meteorološka organizacija proglasila kao najtopliju godinu, od kad se uopće provode mjerenja, prošlu 2010. godinu.

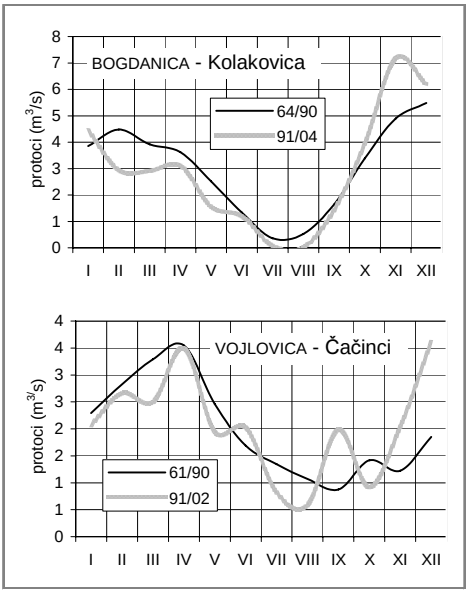
3.2 Promjena režima oborina i površinskih voda

U bilanci i režimu voda glavnu ulogu imaju oborine. Promjena oborina direktno utječe na promjenu vodnog režima. Na području Hrvatske značajne su promjene oborina unutar godine. U svijetu je došlo do većih prostornih promjena, negdje su se oborine znatno povećale, a u nekim područjima smanjile. Prosječne godišnje oborine kod nas ne pokazuju uočljive promjene. Tako su prosjeci za Gospić po pojedinim razdobljima slijedeći: 1931-1960. godine *1396* mm, 1961-1990. *1369* mm, 1995-2005. *1393* mm, 1961-2005. *1377*. mm, ili od 1871-1892. godine *1380* mm. Najveća razlika između ovih prosjeka iznosi samo 27 mm.

Za dva različita oborinska režima, i klimatske postaje Gospić i Đurđevac, za karakteristična razdoblja: 1961-1990. i 1991-2005.(2003.) godine prikazan je godišnji hod oborina na slici 3. Za usporedbu između odnosa oborina i protoka i njihovih promjena prikazan je na slici 4 godišnji hod protoka Bogdanice u vodomjernom profilu Kolakovica, čiji sliv približno prezentiraju oborine na području Gospića, te protoci za Vojlovicu u profilu Čačinci kojem slivu se mogu pridružiti oborine mjerene na području Đurđevca. Promjene unutar godine u oborinama vidljive su i na promjenama protoka. Za razliku od oborina na većini vodotoka dešavaju se i lagane sustavne promjene prosječnih godišnjih protoka. To se dešava negdje od 1983. ili 1985. godine, kako na kojim vodotocima. Uzrok sustavnom smanjenju protoka je porast temperature i veći gubitak oborina na isparavanje što uzrokuje smanjenje otjecanja.



Slika 3. Godišnji hod oborina

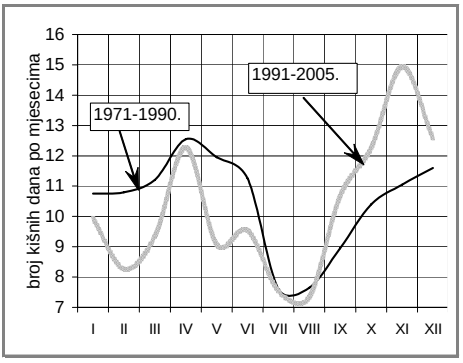


Slika 4. Godišnji hod protoka

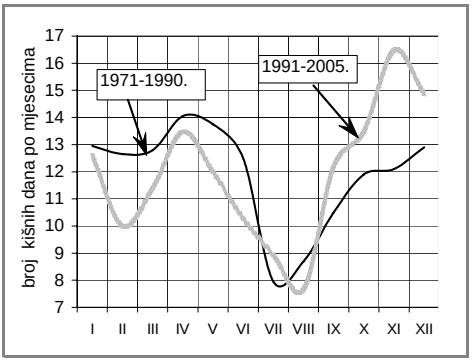
Kako je vidljivo na slici 3, a slično je i na ostalim klimatskim i kišomjernim postajama, najviše se povećala količina oborina u rujnu. Glavna značajka kontinentalnog oborinskog režima bila je pojava primarnog maksimuma oborina u lipnju a sekundarnog u studenom.

Sada je rujan, koji je spadao u sušnije mjesece, postao najednom najkišovitiji mjesec. Kod maritimnog oborinskog režima značajka je da najveće količine oborina padnu u posljednjem kvartalu godine to i dalje ostaje samo sa znatno većim oborinama. I ovdje su se najviše povećale oborine u rujnu ali podjednako i u listopadu, a najviše su se smanjile u veljači i kolovozu (što se pozitivno odrazilo na turizam u kolovozu). Na području Đurđevaca u rujnu od 1961-1990. godine (30 godina) više od 100 mm oborine palo je samo u jednoj godini, a u razdoblju 1991-2003. (13 godina) palo je više od 100 mm čak u osam godina.

Broj dana s kišom po mjesecima prikazan je za Senj na slici 5 a za Gospić na slici 6. Smanjio se broj kišnih dana u prvoj polovici godine i u kolovozu, a povećao se od rujna do prosinca. Prosječni godišnji broj dana s kišom nije se promijenio. Za Gospić je slučajno za promatrana razdoblja taj prosjek čak i isti te iznosi 143 dana.



Slika 5. Senj: Broj dana s kišom



Slika 6. Gospić: Broj dana s kišom

3.3 Promjene drugih klimatskih elemenata

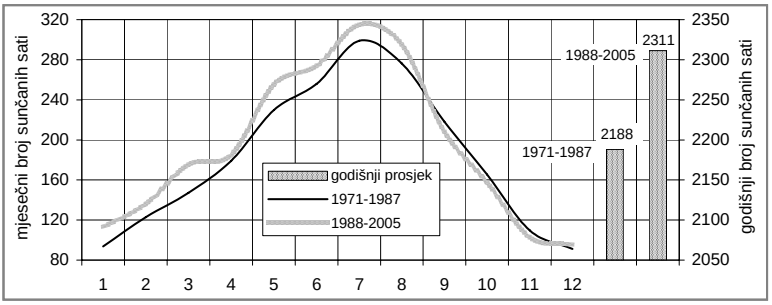
Osim temperature i oborina promjene su prisutne i kod drugih klimatskih elemenata. Problem je što neki od tih elemenata nemaju kontinuirana mjerenja a neki se sustavno ne mjere kao primjerice isparavanje s tla i biljaka a to je s klimatskim promjenama jedna od bitnih komponenti koja utječu na promjenu vodne bilance i na točnost procjene vodne bilance.

Postaja	razdoblje mjerenja	broj godina	isparavanje mm	isparavanje >800 mm	max god. mm
Gospić	1963-1987.	24	741	u 5 god.	
	1988-2003.	9	797	u 4 god.	
	2003.				979
Osijek	1963-1987.	20	737	u 3 god.	
	1988-2003.	9	952	u 9 god.	
	2000.				1217

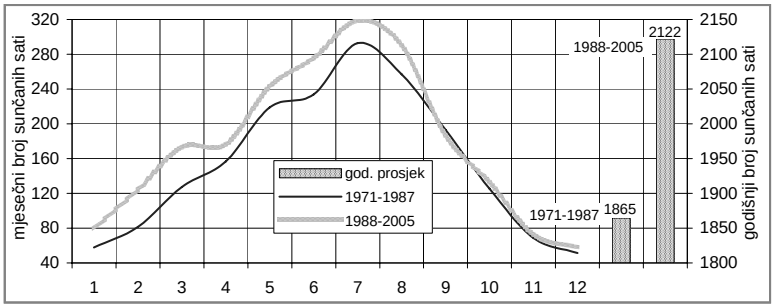
Tablica 1. Ukupno isparavanje(travanj-listopad) s vodene površine

S vodene površine provodi se mjerenje isparavanja (travanj-listopad) na nekoliko postaja. Izmjerene količine isparavanja iz raspoloživih podataka za Gospić i Osijek prikazane su u tablici 1. Isparavanje je poslije 1988. godine pojačano naročito u Osijeku. To u vegetacijskom razdoblju dodatno utječe na manjak otjecanja. Evapotranspiracija i isparavanje s vodene površine se približno prate s tim da je evapotranspiracija nešto manja. Veća je razlika između ovih isparavanja u mediteranskom pojasu nego u kontinentalnom području.

Mjerenjima sijanja sunca za meteorološke postaje Senj i Gospić raspolaže se od 1971. godine. Prosječno mjesečno i godišnje sijanje sunca prikazano je za Senj na slici 7, a za Gospić na slici 8. Najsunčanija godina u Senju je bila 2003. godina a u Gospiću 2000. godina. Do sličnih promjena sijanja sunca došlo je i u kontinentalno području na meteorološkoj postaji Osijek.



Slika 7. Senj: Prosječno mjesečno i godišnje sijanje sunca



Slika 8. Gospić: Prosječno mjesečno i godišnje sijanje sunca

Razlika broja sunčanih sati po mjesecima između razdoblja 1971-1987. i 1988-2005. godine i postotak u odnosu na prosječnu vrijednost svakog pojedinog mjeseca sadržani su u tablici 2.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god.
	Senj												
sati	19,3	13,2	**28,1**	5,7	25,2	17,9	16,0	18,9	*-10,2*	*-8,3*	*-6,9*	4,2	123,0
%	**20,6**	10,7	19,1	3,2	11,0	7,0	5,3	6,8	*-4,7*	*-5,0*	*-6,3*	4,6	5,6
	Gospić												
sati	21,6	43,0	**45,9**	19,5	24,0	41,8	25,9	33,3	*-6,7*	7,6	3,9	6,9	257,5
%	37,3	**52,7**	36,1	12,4	11,0	17,9	8,8	13,0	*-3,5*	6,0	5,6	13,5	12,1

Tablica 2. Prosječne mjesečne razlike sijanja sunca (1988-2005)-(1971-1987.)

Prosječan broj oblačnih dana u godini (srednja dnevna naoblaka ≥ 8,0) u Đurđevcu od 1961-1990. iznosio je 117 dana, a od 1991-2003. godine 109 dana, osam dana manje. U Donjem Miholjcu to je bilo 112 dana i 102 dana, ukupno manje deset oblačnih dana.

ZAKLJUČAK

Provedena razmatranja pokazuju tijek klimatskih promjena i njen utjecaj na vode. Nastavi li se postojeći trend promjena sve više će se to odražavati na vodno gospodarstvo ali i na cjelokupno gospodarstvo. Posebno je za poljodjelstvo odnosno ratarsku proizvodnju nepovoljno smanjenje oborina u početku vegetacije ali i povećanje u rujnu i listopadu. Za pravodobno predviđanje posljedica i poduzimanja određenih mjera nužno je provoditi sustavna meteorološka i hidrološka mjerenja..

Točnost procijene klimatskih promjena, njihov tijek i njihov utjecaj na vode prvenstveno ovisi o kvaliteti i kontinuitetu klimatskih i hidroloških mjerenja. Ima pouzdanih mjerenja, ali ima previše prekida i nepotpunih mjerenja, pa i sumnjivih podataka. Ovih sumnjivih, i sve sumnjivijih, naročito ima u hidrološkim podacima. Važan je i razmještaj i broj postaja te duljina mjerenja i opažanja. Neshvatljivo je ukidanje poneke klimatske ili kišomjerne postaje na kvalitetno odabranoj lokaciji s kvalitetnim mjerenjima i nužnim u tom prostoru. Treba težiti da se meteorološka mreža približi preporukama Svjetske meteorološke organizacije po pitanju broja postaja, vodeći računa o njihovom prostornom razmještaju.

Kod hidroloških mjerenja važna je pouzdanost vodomjernog profila u vodotoku. Na nepouzdanom profilu ne mogu se dobiti pouzdana mjerenja. Primjer je kako su za naše Prvo izvješće za IPCC za praćenje utjecaja klimatskih promjena na vode izabrani vodomjerni profili Zagreb na Savi i Donji Miholjac na Dravi. Nisu se mogli odabrati nepovoljniji profili od ovih. Za v. p. Zagreb su poznata enormna produbljenja korita zbog eksploatacije sirovina iz korita. A u posljednja dva desetljeća je pod stalnim i nepravilnim uspornim utjecajem od promjenjivog praga kod TE-TO Zagreb pa je od 1993. godine svaka bilanca voda u ovom profilu sumnjiva. Vodomjerni profil u Donjem Miholjcu od 1926. do 1975. godine bio je vrlo pouzdan što je rezultiralo i pouzdanom bilancom voda Drave u tom profilu. No nakon promjene lokacije bitno drugačijeg profila i uzvodnih promjena i utjecaja ovaj profil postaje potpuno nepouzdan za bilo kakvu procjenu utjecaja klimatskih promjena. Važno je za vodno gospodarstvo i cjelokupno gospodarstvo da znamo i pratimo što se zbiva s klimom i njenim posljedicama na vode. Treba izabrati pouzdane, sa što dužim razdobljem mjerenja i opažanja, stabilne i reprezentativne lokacije kako klimatskih tako i hidroloških postaja. Znanstveno izučavati nešto što je na potpuno pogrešnim temeljima je besmisleno i štetno.

LITERATURA

[1] Beraković M. (2006.): *Promjena klimatskih značajki, Područje zaobalja rijeke Drave* Hrvatska vodoprivreda, broj 164 (godište XV), str. 62-71.,

[2] Beraković M. (2008.): *Klimatske promjene i vodni režim u Hrvatskoj*, Hrvatska vodoprivreda, broj 181 (godište XVII), str. 16-22.

[3] Beraković M., Beraković B., Cesarec K. (2007.): *Climate changes-some observations in Croatia*, Proceedings The third international conference on climate and water (Mari Heinonen ed) – Helsinki: Finish environment institute SYKE, 51-56 (ISBN: 978-952-11-2790-8)

AUTORI

Marija Beraković, dipl.ing. [a]
prof.dr.sc. Boris Beraković [b]

[a] Božidara Magovca 161, Zagreb, 10010, Hrvatska, marija.berakovic@zg.t-com.hr

[b] Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, boris.berakovic@grad.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.02.

GLOBALNI IZAZOVI KLIMATSKIH PROMJENA I VODNOGOSPODARSKA PLANIRANJA

Živko Vuković, Ivan Halkijević

SAŽETAK: U radu se daje osvrt na globalne izazove klimatskih promjena koje imaju baznu važnost na vodnogospodarska planiranja, odnosno vodnu politiku općenito. Iznosi se i kritički osvrt na teoriju o globalnom zatopljenju, što upućuje na upitnu pouzdanost kod odabira reprezentativnih podataka i informacija za izradu baze podataka, odnosno informacijskog sustava, na kojemu su temeljena vodnogospodarska planiranja. S obzirom na znatnu opsežnost i interdisciplinarnost izrade vodnogospodarskih planova, istaknuta je nužnost uvođenja novog znanstvenog pristupa.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske promjene, globalno zatopljenje, vodnogospodarsko planiranje, gospodarenje vodama, baza podataka, informacijski sustav

GLOBAL CHALLENGES OF CLIMATE CHANGE AND WATER MANAGEMENT PLANNING

SUMMARY: The paper gives an overview on global challenges of climate changes that are of basic importance for water management planning and water policy in general. It also gives a critical review of the theory of global warming, pointing to the questionable reliability in selection of representative data and information for creating a database and information system that serves as a basis for water management planning. In view of the extensiveness and interdisciplinary nature of water management plans preparation, the authors emphasize the necessity of introducing a new scientific approach.

KEY WORDS: climate change, global warming, water management planning, water management, database, information system

1. UVOD

Gospodarenje vodama je vrlo opsežna i složena interdisciplinarna djelatnost koja se provodi primjenom sustavnog pristupa, sveobuhvatnog (integralnog) pristupa i koncepta održivog razvoja. Može se prikazati kao ciklički proces aktivnosti koji započinje planiranjem gospodarenja vodama, nastavlja se projektiranjem, izgradnjom i upravljanjem, tj. korištenjem i održavanjem vodnogospodarskih sustava, te praćenjem i kontrolom ostvarenja ciljeva definiranih planom, kako bi se uočile mogućnosti poboljšanja i uvele u novi

ciklus koji započinje planiranjem gospodarenja vodama za buduća razdoblja [8], [10], slika 1.

Stanje gospodarenja vodama u Republici Hrvatskoj jasno ukazuje na potrebu unapređenja, odnosno poboljšanja ove djelatnosti. Potvrdu aktualnosti i značenja rada na unapređenju gospodarenja vodama dodatno doprinosi i činjenica da Hrvatska upravo dovršava procese prilagodbe pravilima i zakonima Europske unije, što onda zahtijeva i promjene u pristupu te procedurama definiranja, provođenja i kontrole gospodarenja vodama u Hrvatskoj.

Slika 1. Ciklus gospodarenja vodama

Planiranje je prvi korak u gospodarenju vodama s iznimnim utjecajem na cjelokupnu uspješnost gospodarenjem vodama. Stoga je težište u ovome radu stavljeno upravo na neke aspekte vodnogospodarskih planiranja.

2. VODNOGOSPODARSKA PLANIRANJA

Općenito, vodnogospodarska se planiranja sastoje od formuliranja problema, razrade, vrednovanja i izbora alternativnih strategija razvoja te detaljne analize najpovoljnije strategije u odnosu na sve postavljene ciljeve, kriterije, ograničenja i utjecaje.

Podjela planiranja u gospodarenju vodama obično se provodi sukladno trima različitim načinima planiranja [10].

Prvo su vodnogospodarska planiranja na različitim prostornim razinama (međudržavna, državna, razina vodnog područja, razina slivnog područja, razina vodnogospodarskog sustava i razina građevine). Drugo su planiranja prema obuhvatu planiranja i mogu biti višesektorska (uključuje više sektora kao npr. vodni, prometni i energetski sektor), sektorska (unutar jednog sektora) i namjenska (zadovoljenje posebnih potreba unutar jednog sektora, kao što su npr. u vodnom sektoru plan javne vodoopskrbe, plan navodnjavanja, plan zaštite voda, plan zaštite od štetnog djelovanja voda – poplava, erozije i sl.). Treća su vodnogospodarska planiranja prema razdobljima koja obuhvaćaju. Mogu biti strategijska (dugoročno, za razdoblje dulje od 10 godina), taktička (kratkoročno, od jednog mjeseca do 5 godina) i operativna (za kraća razdoblja).

Međutim, neovisno o podjelama po prostornoj, obuhvatnoj i vremenskoj razini, za vodnogospodarska planiranja vrijede generalna pravila primjene sustavne analize, integralnog pristupa i održivog razvoja. Time vodnogospodarska planiranja predstavljaju veliki izazov o kojemu značajno ovisi ostvarenje koncepta održivog razvoja.

Ovakvim se pristupom zapravo promiče proces kojim se potiče koordinirani razvoj vodnog gospodarstva, odnosno vodnih resursa općenito, te s njima povezanim resursima,

kako bi se postigla najveća gospodarska, društvena i ekološka dobrobit na ujednačen i prihvatljiv način bez ugrožavanja mogućnosti da i buduće generacije zadovolje svoje potrebe.

Dokumentom *Okvirna direktiva o vodama* [3], Europska unija odredila je dugoročnu politiku u području voda na europskom prostoru. Sukladno naređenoj direktivi i ostalim direktivama koje propisuje Europska unija, članice Europske unije, kao i države pristupnice, preuzele su obvezu da za svako vodno područje na njihovom teritoriju izrade plan gospodarenja vodnim područjem. U izradi planova potrebno je uvažavati odgovarajuće planske i razvojne dokumente svih sektora i korisnika uz poštovanje ograničenja koje postavljaju vodni resursi u smislu očuvanja zdravlja i sigurnosti stanovništva i dobara i dobroga stanja voda [12].

S obzirom na složenost i opsežnost izrade vodnogospodarskih planova, nameće se potreba za pravodobnim, kvalitetnim i pouzdanim podacima i informacijama.

Naime, bitna karakteristika vodnogospodarskog planiranja je njegova utemeljenost na ulaznim veličinama – podacima i informacijama koje se izravno odnose i/ili utječu na vodne resurse, vodnogospodarske sustave i njihove korisnike. Opseg tih informacija i podataka vrlo je velik i interdisciplinaran, najčešće s vrlo izraženom neravnomjernom razdiobom značajki u prostoru i vremenu [11]. Time se ujedno zahtijeva sustavan i planski pristup odabiru reprezentativnih podataka koje treba neprekidno prikupljati, pohranjivati, integrirati, modelirati, upravljati njima i distribuirati.

Zbog toga je uvriježeno da se kao potpora izradi vodnogospodarskih planova ustanovljuje jedinstveni informacijski sustav. Informacijski sustav čini niz međusobno informacijski povezanih elektroničkih baza podataka koji se primjenjuju pri izradi vodnogospodarskih planova. Zadatak sustava je da kontinuirano prati i prikuplja podatke o vodnim resursima i sustavima kao i korisnicima resursa, te služi kao pouzdana i valjana potpora u svim fazama gospodarenja vodama (slika 1.).

3. KLIMATSKE PROMJENE

Kako je kvaliteta vodnogospodarskih planiranja u najvećoj mjeri direktno ovisna o kvaliteti prikupljenih i sistematiziranih podataka i informacija, stoga je kontinuirano prikupljanje, dopunjavanje i kontrola podataka jedna od ključnih aktivnosti u procesu planiranja.

Zasigurno značajnu vrstu podataka čine i klimatski podaci, nerijetko uključujući i rezultate raznih klimatskih modela koji, između ostaloga, predviđaju zagrijavanje Zemlje odnosno globalni poprast temperature na Zemlji. Pri tome se glavnim krivcem imenuje povećanje koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi, a kao posljedica prekomjerne potrošnje fosilnih goriva (nafte, ugljena, plina), tj. industrijske aktivnosti.

U znanstvenim radovima se kao argument teorije o globalnom zatopljenju i pojačanom efektu staklenika dominantno citiraju izvještaji *Međunarodnog povjerenstva za klimatske promjene* (IPCC) [6]. U trećem po redu izvještaju IPCC-a iz 2001. godine predviđa se globalni porast temperature od 1.4 do 5.8 [°C] u sljedećih 100 godina i eksplicitno je naglašeno da je industrijska aktivnost glavni uzročnik porasta temperature na Zemlji.

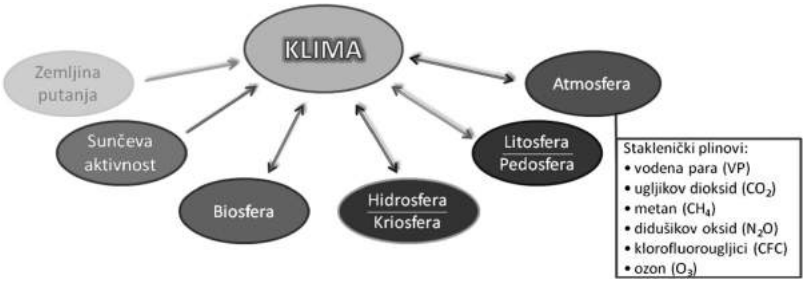
Na ovim izvještajima utemeljene prognoze su vrlo katastrofične, jer će kao posljedica klimatskih promjena nastupiti:

- otapanje ledenjaka i porast razine mora (oceana), od nekoliko desetaka centimetara (10 - 20 [cm]), do više metara (do 2 [m]), a u slučaju da se otopi sav led na Antarktiku, razina mora bi porasla za 70 [m],
- plavljenje nižih dijelova priobalja, potapanje pristaništa i luka te (dijela) naselja i niskih otoka,
- ubrzavanje kemijskih procesa razaranja građevina od betona, čelika i kamena zbog izloženosti njihovih temelja povećanoj koncentraciji klorida i sulfata u podzemnim vodama priobalja uslijed podizanje razine mora,
- prodiranje morske vode u slatkovodne priobalne vodonosnike i zaslanjenje vode,
- promjena morskih strujanja (cirkulacija) sa znatnim posljedicama na pronos kisika, hranjivih tvari i topline,
- promjena morskih plovnih puteva (Arktika),
- povećanje nejednolikosti distribucije oborina s naglašenijom učestalošću pojave olujnih nevremena i suša,
- jaka erozija tla,
- nastajanje novih i proširenje postojećih pustinja (dezertifikacija),
- nestašica naročito pitke vode zbog, s jedne strane, smanjenja slatkovodnih rezervi, a s druge strane, zbog povećanih potreba za vodom u kućanstvima, industriji i naročito poljoprivredi (navodnjavanje),
- povećana upotreba kemijskih sredstava (pesticida) za zaštitu bilja u poljoprivrednoj proizvodnji (kemijska tempirana bomba),
- značajno smanjenje biološke raznolikosti i daljnje neželjene promjene u ekosustavima,
- nestašica hrane (glad) u područjima izloženih suši, olujnim nevremenima, eroziji i dezertifikaciji, ugrožavanje ljudskog zdravlja s pojavom epidemija i pandemija.

Kod većine ovih pojava postoji njihovo preklapajuće djelovanje, tako da mogu djelovati istodobno tj. kombinirano, s vrlo izraženim globalnim posljedicama na svjetsku ekonomiju.

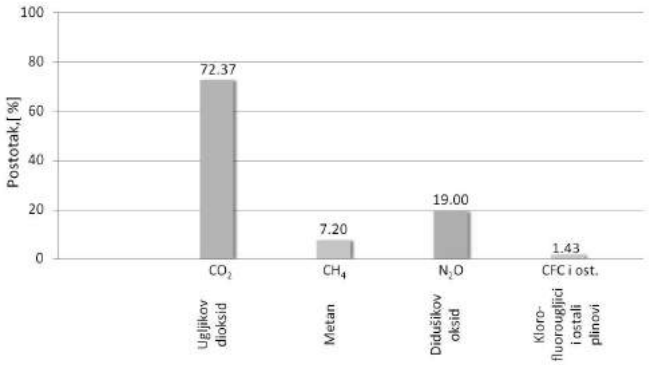
Međutim, danas sve više svjetski priznatih meteorologa, astronoma i klimatologa upozorava da su uzroci klimatskih promjena daleko složeniji. Tako se od 2008. godine u organizaciji Instituta Heartland održavaju *Međunarodne konferencije o klimatskim promjenama* (ICCC) [7], na kojima znanstvenici sve više dovode u pitanje IPCC-ovu teoriju o utjecaju industrijske aktivnosti na globalno zatopljenje, ističući da glavninu klimatskih promjena uzrokuje Sunčeva aktivnost i prirodne sile te da čovjekov utjecaj uopće nije presudan.

Ovi znanstvenici naglašavaju kako na klimatski sustav Zemlje utječe više faktora, od kojih većina interaktivno. Pri tome se temeljnim utjecajem smatra promjena Zemljine putanje oko Sunca, zatim promjena Sunčeve aktivnosti te utjecaj atmosfere, litosfere/pedosfere, hidrosfere /kriosfere i biosfere, slika 2.

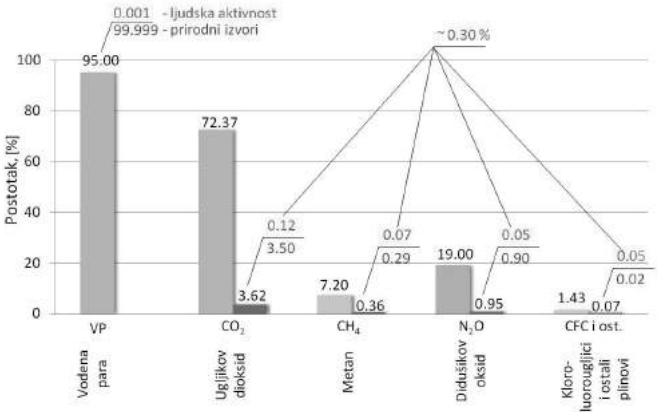


Slika 2. Utjecajni faktori na klimatski sustav Zemlje

Međutim, izvještaji IPCC-a uopće ne dopuštaju mogućnost da promjena Zemljine putanje oko Sunca i promjenjiva solarna aktivnost utječe na klimu na Zemlji, odnosno na globalno zatopljenje. Dodatno, u spomenutom izvještaju iz 2001. godine vodena para uopće nije navedena na listi stakleničkih plinova, čak nije ni spomenuta mogućnost utjecaja vodene pare na porast temperature. Stoga se dominantnim stakleničkim plinom smatra CO_2 s preko 72 [%]-tnim udjelom, dok svi ostali plinovi (CH4, N2O, CFC i ost.) sudjeluju s 28 [%], odnosno nešto više od 1/4 [5], slika 3.



Slika 3. Udjeli stakleničkih plinova bez vodene pare



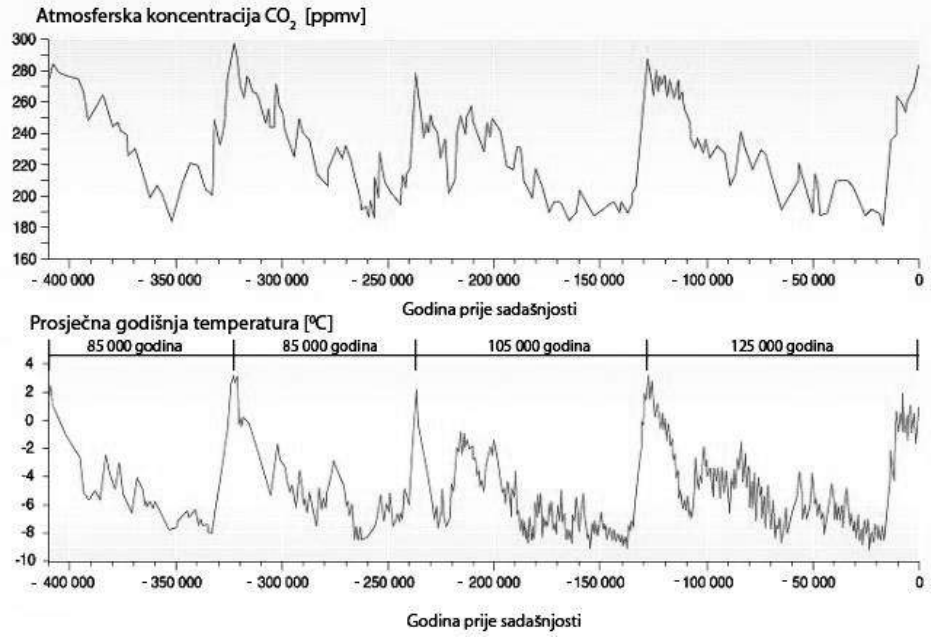
Slika 4. Usporedba udjela stakleničkih plinova s i bez vodene pare te uslijed antropogenog utjecaja i iz prirodnih izvora

Međutim, kada se u obzir uzme i vodena para, VP, proporcije su bitno izmijenjene [5], slika 4. VP doprinosi efektu staklenika s 95.00 [%], CO_2 s 3.62 %, CH_4 s 0.36 [%], N_2O s 0.95 [%] i CFC spojevi s ostalim plinovima sudjeluju s 0.07 [%]. Dakle, VP reprezentira 95.00 [%] efekta staklenika, a svi ostali plinovi svega 5.00 [%], pri čemu je utjecaj CO2 za 26 puta manji od VP (3.62 [%] spram 95.00 [%]), odnosno 20 puta manji (3.62 [%] spram 72.37 [%]) kada se u obzir uzme i VP. Sve ovo ukazuje da je utjecaj CO2 na efekt staklenika, odnosno na globalno zatopljenje, beznačajan.

Dodatno, ako se kod prethodno navedenih udjela stakleničkih plinova provede podjela na dio koji je posljedica ljudskih aktivnosti, dakle antropogenog utjecaja, i na dio koji dolazi iz prirodnih izvora, i na koje prema tome čovjek nema utjecaja, dobiju se sljedeći odnosi: 99.999 [%] VP dolazi iz prirodnih izvora, a samo 0.001 [%] je posljedica čovjekovih aktivnosti. Kod CO_2 utjecaj čovjeka je 0.12 [%] ili jedna tridesetina, itd..., odnosno zbrajajući sve ove vrijednosti dobijemo da su za efekt staklenika ljudske aktivnosti odgovorne samo s 0.3 [%], slika 4.

Oponenti ovih odnosa su ih pokušavali osporiti, ističući kako je udio CO_2 podcijenjen, međutim udio VP nisu uspjeli spustiti ispod 60 [%], odnosno doprinos CO_2 povećati na više od 26 [%], a što je tek 1/3 od prethodno deklarirane vrijednosti bez utjecaja VP [9].

Kao dokaz prethodne tvrdnje mogu poslužiti dijagrami na slici 5, na kojima je unazad 400.000 godina prikazana promjena atmosferske koncentracije CO_2 i prosječne godišnje temperature na Zemlji [13].



Slika 5. Promjena atmosferske koncentracije CO_2 i prosječne godišnje temperature na Zemlji u prošlosti

S ovih dijagrama vidi se da je, počevši od danas, svakih 125.000 godina, pa 105.000, pa 85.000 i opet 85.000 godina izražen porast temperature, dakle globalno zatopljenje, a onda opet gotovo u tom istom periodu dolazi do izraženog pada temperature, tj. ledenog doba. Prema tome, govoreći uprosječeno, svakih 100.000 godina bilo je globalno zatopljenje pa ledeno doba, opet globalno zatopljenje pa ledeno doba, itd. I kad god je bilo globalno zatopljenje, dakle porast temperature, uvijek je bilo popraćeno visokom koncentracijom CO_2 u atmosferi.

Dakle, vidi se da se klima kroz Zemljinu povijest neprestalno ciklički mijenjala, odnosno da je riječ o potpuno prirodnom ciklusu, što se podudara s ključnom znanstvenom činjenicom o promjenljivosti Zemljine putanje oko Sunca zbog čega se Zemlja prosječno svakih 50.000 godina udaljava od Sunca, uz pad temperature, pa se onda sljedećih 50.000 godina približava Suncu, uz porast temperature. Danas je Zemlja u fazi udaljavanja od Sunca, što znači da zasigurno izlazi iz globalnog zatopljenja i polako ulazi u novo ledeno doba kada će temperatura pasti za 12 do 13 [°C], jer sve ovo što se više puta događalo u prošlosti, taj će se scenarij ponoviti.

Dodatno, i astronomi ističu kako se nikada neće razumjeti što se događa s klimom na Zemlji ako se zanemari utjecaj promjenjive Sunčeve aktivnosti. Temperatura na Zemlji raste u razdobljima pojačane solarne aktivnosti, odnosno pojave Sunčevih pjega, a pada u razdobljima smanjene aktivnosti, odnosno nestanka Sunčevih pjega.

Stoga opozicijski znanstvenici upućuju dodatne kritke na službenu teoriju o globalnom zatopljenju. Ističu da je, općenito, čitava teorija o globalnom zatopljenju zapravo bazirana na plebiscitarno prihvaćenim postulatima, a ne na znanstveno dokazanim činjenicama. Zaključci se donose na osnovi pretpostavki o podudaranju klimatskih modela i izmjerenih podataka. Ali, čak i uz pretpostavku da se teorija slaže s podacima, ili da se podaci slažu s teorijom, to uopće ne garantira da teorija točno i pouzdano opisuje izučavani fenomen [4].

Time prethodno izneseno nedvojbeno upućuje na zaključak da bespogovorno i nekritičko usvajanje rezultata raznih modela klimatske i ekološke budućnosti naše planete baziranih na teoriji globalnog zatopljenja zasigurno može rezultirati i značajnim pogreškama kod svih planiranja koja te rezultate dalje koriste, a naročito kod vodnogospodarskih planiranja.

Dakle, treba biti vrlo oprezan jer znanost još uvijek traži odgovor na pitanje da li se kod klimatskih pojavnosti u posljednjih nekoliko desetljeća definitivno radi o promjeni klime ili samo o njenoj uobičajenoj varijaciji [9]. Bonnaci [1] smatra da je nemoguće dati pouzdan i znanstveno zasnovan odgovor na ovu ključnu dilemu na osnovi postojećih nizova mjerenih klimatskih parametara, u konkretnom slučaju prizemnih temperatura zraka. Glavnim razlogom autor smatra vrlo izražene nehomogenosti u nizovima mjerenih klimatskih parametara. Ove nehomogenosti mogu biti uzrokovane promjenom instrumenata za mjerenje, promjenom motritelja, neizbježnim promjenama u lokalnom okolišu (npr. urbanizacija, industrijalizacija) te naročito uslijed primijenjene metodologije statističke obrade mjerenih klimatskih podataka za različita razdoblja.

Dakle, modeliranje klimatske i ekološke budućnosti naše planete primjenom danas najsofisticiranijih numeričkih modela i najmoćnijih računala ukazalo je na jednu vrlo jednostavnu istinu s obzirom na rezultate koji se primjenom tih modela mogu očekivati. Ovi rezultati prvenstveno zavise o tome kakav je bio razvoj procesa u prošlosti, jer se

na temelju toga definira i zakonitost, odnosno trend, razvoja procesa i u budućnosti. A u znanosti su poznati brojni primjeri naglih promjena dugotrajnih prirodnih procesa kojima, barem za sada, nije moguće naći valjana znanstvena objašnjenja.

Stoga stalno treba isticati da je kod klimatskog sustava riječ o vrlo izraženim i složenim interaktivnim procesima koji još nisu u cijelosti znanstveno shvaćeni pa ih se još uvijek ne može pouzdano ni modelirati. Dakle, riječ je o jednom izrazito slabo organiziranom ili difuznom sustavu gdje ne postoji jasna i jednoznačna funkcijska veza između promatranih čimbenika, već je više riječ, slikovito govoreći, o njihovom međusobnom dijalogu. A za izučavanje takvih sustava potrebna nam je, ako ne nova znanost, a ono barem novi znanstveni pristup [2].

ZAKLJUČAK

Vodnogospodarska planiranja su prvi korak u gospodarenju vodama s iznimnim utjecajem na cjelokupnu uspješnost gospodarenjem vodama. Bitna karakteristika vodnogospodarskih planiranja je njihova utemeljenost na ulaznim veličinama – podacima i informacijama u vezi vodnih resursa, vodnogospodarskih sustava i njihovih korisnika. Stoga je kontinuirano prikupljanje, dopunjavanje i kontrola podataka jedna od ključnih aktivnosti u procesu planiranja.

Značajnu vrstu podataka čine i klimatski podaci, uključujući i rezultate raznih klimatskih modela koji predviđaju globalni poprast temperature na Zemlji, odnosno globalno zatopljenje. Pri tome se, kao posljedica ljudskih aktivnosti, glavnim krivcem imenuje povećanje koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi.

Međutim, danas sve zastupljenijim postaju tumačenja prema kojima na klimatski sustav Zemlje utječe više faktora, od kojih većina interaktivno, te da čovjekov utjecaj uopće nije presudan. Stoga s rezultatima klimatskih modela treba biti vrlo oprezan jer znanost još uvijek traži odgovor na pitanje da li se kod klimatskih pojavnosti u posljednjih nekoliko desetljeća zaista radi o promjeni klime ili samo o njenoj uobičajenoj varijaciji.

Nedvojbeno je da se kod klimatskog sustava Zemlje radi o vrlo izraženim i složenim interaktivnim procesima koji još nisu u cijelosti znanstveno shvaćeni pa ih se još uvijek ne može pouzdano ni modelirati, a za što će nam u budućnosti zasigurno trebati novi znanstveni pristup.

LITERATURA

[1] Bonnaci, O. (2010): *Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj*, Građevinar 62(2010)9, 781-791.

[2] Bradbury, R. (1998): *Sustainable Development as a Subversive Issuse*, Nature & Resources 34(4), 7 – 11.

[3] *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.* Official Journal L 327, 22. 12. 2000 P.0001.

[4] Galvin, C. (2008): On AGU's Position Statement, *Human Impacts on Climate*, EOS 89(46):459.

[5] Hieb, M. (2004): *Water Vapor Rules the Greenhouse System*: www. clearlight.com/mhieb.

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPPC (1990, 1995, 2001, 2007): *Assessment Reports*, www.ippc/ch/publications.

[7] International Conference on Climate Change, ICCC (2008, 2009, 2010): www. heartland.org/events.

[8] Karleuša, B., Beraković, B., Rajčić, V. (2010): *Ekspertni sustavi za ocjenu uspješnosti planiranja u gospodarenju vodama*, Građevinar 62 (2010) 1, 1–11.

[9] Leroux, M. (2005): *Global Warming – Myth or Reality?*, Springer Verlag, Berlin, 509.

[10] Margeta, J. (1992): *Osnove gospodarenja vodama*, Građevinski fakultet u Splitu, Split, 230.

[11] Mijalić, M., Turudić, T. (2008): *Sistematizacija podataka i informacija za potrebe izrade planova upravljanja vodnim područjima*, Sabor hrvatskih graditelja 2008 - zbornik radova, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Cavtat, 955-961.

[12] *Strategija upravljanja vodama* (2008): NN 91/08.

[13] J.R. Petit, J. Jouzel. et. al. (1999.): *Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica*, Nature 399 (3June), pp 429-436.

AUTORI

Živko Vuković, Ivan Halkijević

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, vukovic@grad.hr,

R 1.03.

THE CC-WATERS PROJECT: PROJECT PRESENTATION WITH SPECIAL REFERENCE TO PILOT SITES IN CROATIA

Josip Terzić, Siniša Širac, Slobodan Miko, Gerhard Kuschnig, Mojca Lukšić

SUMMARY: The Climate change and impacts on water supply project (acronym CC WaterS) is funded by the European Union within the South East Europe Transnational Cooperation Programme (SEE–TC). The leading partner is Vienna Waterworks (Austria). The project involves 18 partner institutions from 9 countries: Austria (3 partners), Slovenia (3), Hungary (1), Italy (1), Romania (3), Bulgaria (1), Greece (3), Croatia (1), and Serbia (2). The Croatian partners are the Hrvatske vode and the Croatian Geological Survey as external experts. For some specific tasks defined by the project outline, other specialists were involved (Croatian Meteorological and Hydrological Service from Zagreb and Faculty of Civil Engineering from Rijeka). Research in Croatia has focused on three pilot areas (Lake Vrana on the island of Cres, Bokanjačko Blato near Zadar and Blatsko Polje on the island of Korčula). The study of the current water balance and that predicted under conditions of possible climate change, represents the most important part of the project. Croatian researchers, besides the mentioned survey of recent changes, will undertake further research on climatic variations/changes through the entire Holocene through multiproxy studies of sediments. This will allow reconstruction of climate variations that occurred in the recent geological past, and whether recent trends can be interpreted as part of longer-lasting climate variations and whether human impact causes these changes and/or accelerates them.

KEY WORDS: Climate change, Climate variation, Transnational cooperation, Water balances, Croatia

PROJEKT CC-WATERS: PRIKAZ PROJEKTA S POSEBNIM NAGLASKOM NA POKUSNA PODRUČJA U HRVATSKOJ

SAŽETAK: Projekt CC-WaterS (Klimatske promjene i utjecaj na vodoopskrbu) financira Europska unija putem Programa Transnacionalne suradnje Jugoistočne europe (SEE-TC). Glavni partner je bečki vodovod (Austrija). Projekt uključuje 18 partnerskih institucija iz 9 zemalja: Austrija (3 partnera), Slovenija (3), Mađarska (1), Italija (1), Rumunjska (3), Bugarska (1), Grčka (3), Hrvatska (1) i Srbija (2). Hrvatski partner su Hrvatske vode, a te

Hrvatski geološki institut kao suradnička institucija. Za neke posebne zadatke određene strukturom projekta uključuju se i podizvođači (državni hidrometeorološki zavod iz Zagreba i Građevinski fakultet iz Rijeke). Istraživanja u Hrvatskoj su usmjerena na tri pokusne lokacije (Vransko jezero na Cresu, Bokanjačko Blato kod Zadra i Blatsko polje na Korčuli). Najvažniji dio projekta predstavljaju istraživanja današnjih vodnih bilanci i onih koja se predviđaju u budućnosti pod utjecajem mogućih promjena klime. Hrvatski će istraživači, osim istraživanja recentnih klimatskih promjena, analizom posrednih indikatora (kemijskih, mineraloških i paleontoloških) istraživati klimatske promjene/varijacije tijekom cijelog holocena. To će omogućiti rekonstrukciju klimatskih varijacija koje su se pojavljivale tijekom geološke prošlosti, ali i odgovoriti na pitanje mogu li se recentni trendovi interpretirati kao dio dugotrajnijih prirodnih varijacija klime, ili ih ipak uzrokuje (ili ubrzava) ljudski utjecaj.

KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, Klimatske varijacije, Transnacionalna suradnja, Vodne bilance, Hrvatska

1. INTRODUCTION

The project project "Climate change and impacts on water supply" (CC WaterS) is funded by the European Union, and it is a project within the South East Europe Transnational Cooperation Programme (SEE–TC). The leading partner in the project is Vienna waterworks (Austria). The project involved 18 partner institutions from 9 countries in the region: Austria (3 partners), Slovenia (3), Hungary (1), Italy (1), Romania (3), Bulgaria (1), Greece (3), Croatia (1), and Serbia (2). The partner in the Croatian part of the project is the Croatian Waters and the Croatian Geological Survey.

The cooperation within the CC WaterS project is natural continuation of long lasting cooperation of experts from Vienna Waterworks and Croatian Geological Survey (together with other partners from Austria, Italy and Slovenia) that lasts for over a decade and was formally performed within the two previos InterregIII projects: Kater (Karst and water) and Kater II.

The CC-WaterS project examines the impact of climate change on the water supply. The project involved experts from the Croatian Geological Survey with different expertise (hydrogeologists, geochemists, palinologists and GIS specialists), Croatian Waters experts and meteorologists from the State hydrological and meteorological survey (Zagreb) and hydrologists from the Civil engineering faculty (Rijeka). Multidisciplinary research has focused on three experimental locations (Lake Vrana on the island of Cres, Bokanjačko Blato near Zadar and Blatsko Polje on the island of Korčula). In coastal and island karst systems, the greatest threat to water quality comes from subsurface seawater intrusion into the aquifer; and if climate change reduces outflows of fresh water, seawater intrusion will increase. Therefore, the risk of adverse effects of reduced rainfall or elevated temperatures in these areas is higher than in continental areas. The study of the current water balance and that predicted under conditions of possible climate change, represents the most important part of the project. Croatian researchers, besides the mentioned survey of recent changes, will undertake further research on climatic variations/changes through almost the entire Holocene. In this way it will be possible to conclude whether such climate variations occurred in the recent geological past, and whether recent trends can be interpreted as part of longer-lasting climate variations or whether human impact causes

these changes and/or accelerates them. The CC-WaterS project began after few months of preparation in May 2009, and will last until the end of April 2012.

2. PROJECT ORGANIZATION

2.1. Partners

In the figure 1 whole South East Europe (SEE) space is presented, with the positions of partner institutions.

Figure 1. South East Europe space with position of partners in the CC-WaterS project.

There are 16 partners financed directly by ERDF (European Regional Development Fund): the lead partner, 14 project partners, and one so-called 10% Partner. There are also the two IPA (Instrument for Pre-accession) partners. Partners are: **Lead Partner**: Municipality of the City of Vienna, Waterworks, Vienna, Austria; **Project Partner 1**: Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Forestry Section, Vienna, Austria; **Project Partner 2**: Municipality of Waidhofen an der Ybbs, Waterworks, Waidhofen an der Ybbs, Austria; **Project Partner 3:** Ministry of Spatial planning and Environment, Environmental Agency of the Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenia; **Project Partner 4**: University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia; **Project Partner 5**: Public Company for

Water Supply and Waste Water Disposal Ljubljana, Ljubljana, Slovenia; **Project Partner 6**: Central Directorate for Water and Environment, Department for River Basin Management, Budapest, Hungary; **Project Partner 7**: Regional Administration of Molise, Environmental Protection Unit, Campobasso, Italy; **Project Partner 8:** Academy of Romania, Institute of Geography, Bucharest, Romania; **Project Partner 9:** National Meteorological Administration, Bucharest, Romania; **Project Partner 10:** National Institute for Hydrology and Water Management, Bucharest, Romania; **Project Partner 11:** Executive Forest Agency of the Ministry of Agriculture and Food, Sofia, Bulgaria; **Project Partner 12:** Thessaloniki Water Supply & Sewerage Co s.a., Thessaloniki, Greece; **Project Partner 13**: Municipal Enterprise for Planning and Development of Patras s.a., Patras, Greece; **Project Partner 14**: Aristotle University of Thessaloniki, Department of Civil Engineering, Thessaloniki, Greece; **10% Project Partner** (financed via the Lead Partner): Croatian Waters, Zagreb, Croatia; **IPA Partner 1** (IPA financial Lead Partner): University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia; and **IPA Partner 2:** Jaroslav Černi Institute for Development of Water Resources, Belgrade, Serbia.

2.2. Work packages and workshops

The project is organized in "work packages" (WP), or thematic working groups. There are seven work packages. In figure 2 it is shown how the work flow is organized within the 7 thematic working groups. The first two packages are common for all the partners and connected with the Management and coordination (WP1) and Communication and dissemination (WP2). Following four packages are "expert" WPs: WP3 - Climate change, WP4 - Water resources availability, WP5 - Land Use and water resources safety, WP6 - Socioeconomic evaluation, and WP7 - Water supply management measures. Croatian partner is involved in all working groups expect the WP6.

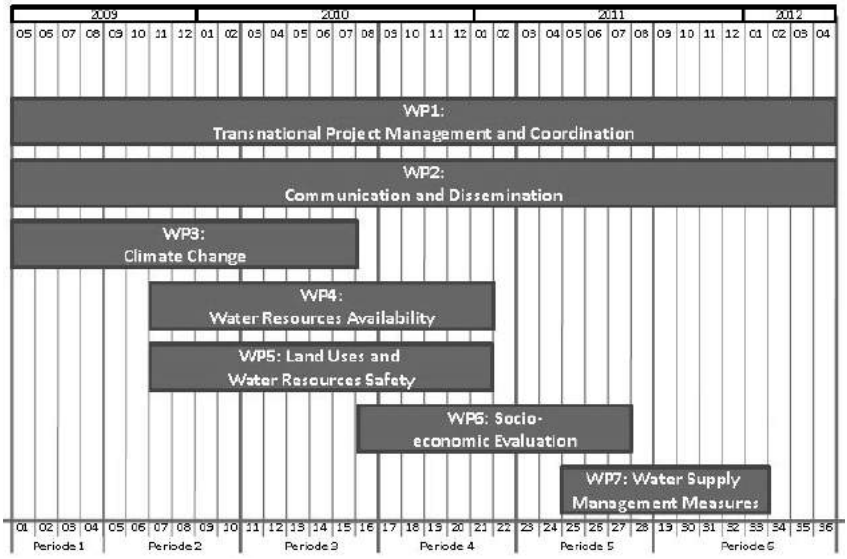


Figure 2. Work packages and time-table of the CC-WaterS project.

To keep the work flow it is important for all the partners to meet on a regular basis. There are four types of the project meetings: thematic workgroup meetings (TWG), steering committee meetings (SC), science advisory board meetings (SB), plenary workshops (PW) and core working group meetings (CW). All types of workshops, except the CW meetings which will take place whenever necessary, have determined time, and partners will until the end of project meet at least 25 times (because some of the workshops are combined). Each partner will host at least one workshop, so there will be meetings held in every CC-WaterS country.

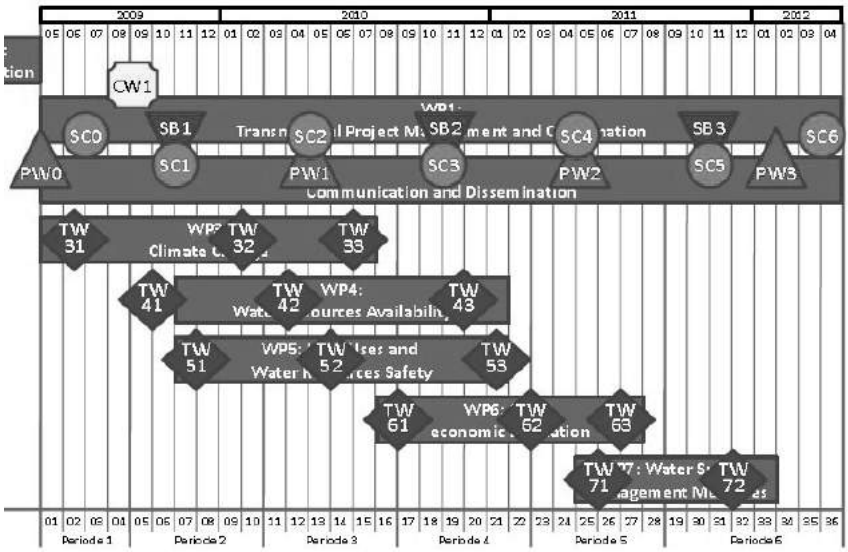


Figure 3. Workshops and meetings.

2.3. Project outputs

Such a complex and extensive project has to be managed in detail and successful international cooperation can be achieved only with permanent communication among partners. Therefore, essential parts of the project are workshops (Figure 3). Other than that, each partner will work on its pilot sites to achieve common goal - an influence of climate changes predictions according to working group plans. Since this is an EU funded project, the work is transparent and results will be available to public. There is a project web-site (*http://www.ccwaters.eu/*) where all the relevant information can be found. During the project there will be three student training courses – each country will delegate at least 5 students who will attend the course. One training course is situated in Hungary, one in Greece and one in Austria. Students from different universities will get together for a five days of learning about the climate change and its influence on water resources.

Figure 4. The CC-WaterS and SEE TC logo.

Each work package will have a final report, available on a project's website, and in the end of the project, a book, monograph, will be published as well. Although the CC-WaterS is not strictly scientific project, scientific contribution will be appreciable, and since in project are involved numerous scientists from many different fields of expertise, there will probably be many scientific and professional papers published in journals and on conferences.

3. ABOUT THE RESEARCHES IN CROATIA

Croatian pilot areas are situated along the Adriatic Sea coast, to cover whole Adriatic region (Fig. 5), covering different climatic belts, from Kvarner to southern Dalmatia. There are three pilot areas: Vransko Lake on the island of Cres, Bokanjačko Blato karst polje near Zadar, and Blatsko karst polje on the island of Korčula.

Geological and structural composition of this area is characterized by deep and irregular karstification of tectonically disturbed, mostly carbonate rocks. This environment is world-wide known as the Dinaric karst.

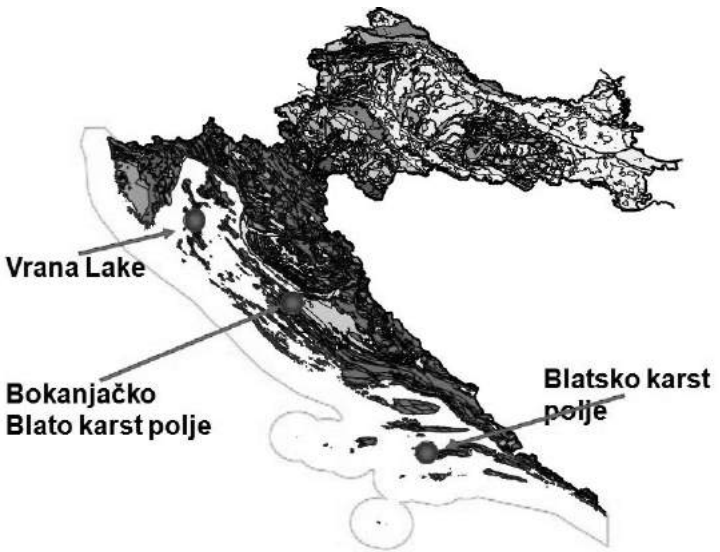


Figure 5. Position of pilot sites in Croatia.

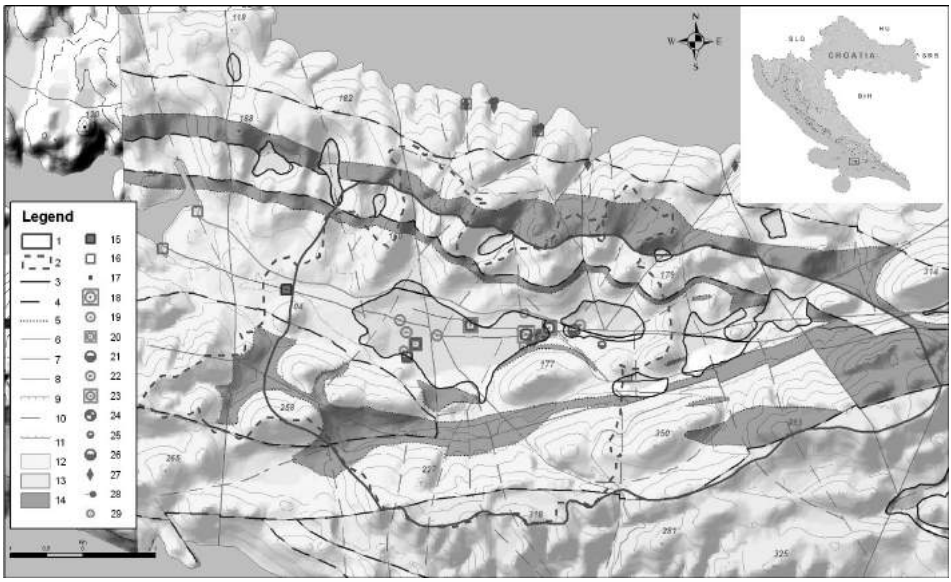


Figure 6. The topographic and hydrogeological catchment area of the Blatsko polje on the island of Korčula pilot site. 1-hydrogeological catchment; 2-topographical catchment; 3 to 11- geological and tectonic lines; 12 to 14-hydrogeologically classified rock masses; 15 to 29- hydrogeological objects, wells, springs, extraction sites and main pollutants.

Considering the work packages important for the expert interpretation of the climate change influence on the surface and groundwater resources of relevant pilot areas, other experts have been involved. Climatic models have been calculated by colleagues from the State hydrological and meteorological service from Zagreb, and for hydrological modeling and some other specific expertise have been done by experts from the Faculty of civil engineering from Rijeka. This shows how multidisciplinary expert team was needed for this complex task.

Hydrogeological researches are targeted at the catchment area determination (as precise as possible), a key factor for a water balance calculation because in karst areas real and topographic groundwater divides are usually quite different (Fig. 6). Other than that, a new monitoring program will be set up using the data loggers (Eijkelkamp CTD Divers; Fig. 7), for "continuous" measurements of water level, specific electrical conductivity (SEC) and water temperature. It is important to significantly improve the time scale of the available data, because these sensitive karst systems are responding to precipitation and drought periods very fast.

Figure 7. Establishment of the water level, SEC and temperature monitoring in canals draining Blatsko polje on the island of Korčula.

The geochemical and palinological methods are going to be used to reconstruct the environmental change during the Holocene in test sites, particularly climate and landuse change, as well as possible pollution impacts. The high resolution multyproxy analysis of lake sediment cores will be used to identify, quantify and model the impact of changes in climate and land-use on environmental processes and catchment development. These researches will also improve the understanding of hydrologic and hydraulic processes, as well as the understanding of links between climate and hydrology. They will also establish an absolute chronology of phases of increased and decreased sediment accumulation during the Holocene. These goals are closely related because the development and use of paleohydrologic techniques require an understanding of geomorphic response to climate change and an improved understanding of hydrologic and geochemical processes. The key scientific questions to be addressed are: (1) How the humans have altered the mass balance of water, sediment, nutrient and contaminant fluxes during the Holocene in the karst regions and what are the consequences? (2) How do changes in land use, climate and sea level alter fluxes and retention of water and particulate matter in coastal zones, lake and terrestrial environments and the affect on the morphodynamics? (3) How can we apply knowledge of processes and impacts to improve predictions of future water availability based on reconstructed variability during the whole Holocene in the pilot areas?

CONCLUSION

The importance of climatic changes or variations study is one of the most significant research directions today, all over the world. The influence of the climatic changes on water resources and, therefore, a water supply, is one of the most important problems even today, and relevance will get higher and higher tomorrow. The CC-WaterS project partners are studying this problem within the SEE space, because climate change problems cannot be successfully revealed only on a national level. Only common international researchers' efforts can provide valuable results. Multidisciplinary researchers of all the CC-WaterS countries are using the same or very similar methodology to gain comparable results and to validate (and improve) each others' results.

Although the CC-WaterS project is still going on, results of the finished work packages and preliminary results of whole project, point at the fact that in the future (in majority of pilot sites all over the SEE space) there will be less precipitation, and average air-temperatures will be higher. Those circumstances will cause lowering of the infiltration amount, and lower groundwater (and surface water) levels. This will cause decrease in water quantities availability for the public water supply. Some specific issues, i.e. the possible land use changes and socio-economic aspects, will also be taken into account.

Results of climatic models applied are similar for Croatian pilot sites. Only at the Vransko Lake there was predicted slight increase of precipitation until the 2100, but air temperature will also be higher, so the infiltration will decrease. On the other two pilot sites, Bokanjačko Blato and Blatsko polje, predictions are quite troublesome: there will be decrease of the precipitation and increase of air temperature. Since these areas have important extraction sites used for the public water supply, it is questionable if there will have to be (maybe significant!) decrease of extraction quantities. In these terrains close to the Adriatic Sea coast, lower groundwater levels will probably cause easier seawater intrusions in karst aquifers. So there is not only a quantitative estimation needed, but water quality problems are present as well, and they should also be treated with the respect.

The community should be ready to deal with climate change consequences. The most important thing that should be done now is detailed and bulk research of these sensitive karst aquifer and awareness that deteriorations are possible. Only if the researchers' could predict these kinds of situations, they will be able to inform the decision-makers and to propose solutions. That is why this kind of research, as well as its continuation (first of all by the water monitoring program - groundwater or surface water levels, quantity and quality), is very important.

ACKNOWLEDGEMENTS

The CC-WaterS project is funded by European Union via European Regional Development Fund, within the South East Europe Transnational Cooperation Program. The authors wish to express their gratitude to the Lead partner, Vienna Waterworks, and to Croatian partner, Hrvatske Vode, as well.

AUTHORS

Josip Terzić[1]
Siniša Širac[2]
Slobodan Miko[2]
Gerhard Kuschnig[3]
Mojca Lukšić[2]

[1] Croatian Geological Survey, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska, *terzic@hgi-cgs.hr*

[2] Hrvatske vode, Vukovarska 220, 10000 Zagreb, Hrvatska

[3] Vienna Waterworks, Grabnergasse 4-6, 1060 Vienna, Austria

R 1.04.

CLIMATE AND CLIMATE CHANGE ANALYSES FOR CC-WaterS PROJECT

Marjana Gajić-Čapka, Ivan Güttler, Čedo Branković

SUMMARY: In the framework of the international project CC-WaterS* three karstic aquifers at the eastern Adriatic coast are selected as test beds in Croatia: the lake Vrana, the Bokanjac and the Blato catchments. Air temperature and precipitation are analysed as basic input parameters used in hydrological calculations for water supply estimates. Analyses of present climate (1961-1990) contain air temperature and precipitation intra-annual variability and extremes and their temporal variations during the period 1951-2009 on monthly, seasonal and annual scale for stations within catchments. This paper presents the results for Bokanjac at the middle Adriatic coast.

In the second part of this paper, climate is analysed in simulations of three regional climate models. Comparison of simulations of present climate with these three models, local observations on stations in meteorological network of Meteorological and Hydrological Service of Croatia and time series from E-OBS database points to a need for bias correction. In thise sense, statistical bias correction has been applied to all model simulations when compared to E-OBS values. Since there are differences present between E-OBS and local observations, further simple adjustment is developed. Climate change definied as a difference between future climate (2021-2050. and 2071-2100.) and present climate (1961-1990.) in all three models points towards temperature increase in all three locations. On the other hand, trend in precipitation amount points to higher variability in sense of sign and amount of change which also depends on model and season.

KEY WORDS: air temperature, precipitation, trend, variability, regional climate models

ANALIZA KLIME I KLIMATSKIH PROMJENA ZA PROJEKT CC-WaterS

SAŽETAK: U okviru međunarodnog projeka CC-WaterS* uključena su tri pilot područja u Hrvatskoj, krški vodonosnici na jadranskom području: slivovi Vranskog jezera, bokanjačkog polja i Blatskog polja. Meteorološka studija obuhvaća analizu temperature zraka i oborine, koji se koriste kao jedan od temeljnih ulaznih parametara za hidrološke analize relevantne za procjene mogućnosti vodoopskrbe. Analiza klimatskih prilika sadašnje klime (1961-1990.) uključuje temperaturnu i oborinsku unutargodišnju varijabilnost i ekstreme, kao i njihove vremenske varijacije u razdoblju 1951-2009. Anali-

za se temelji na mjesečnim, sezonskim i godišnjim podacima meteoroloških postaja na slivovima. U ovom radu je prikazana analiza za bokanjačko polje kod Zadra.

U drugom dijelu rada analizirane su klimatske promjene iz simulacija tri regionalna klimatska modela. Usporedba sadašnje klime ova tri modela s prostorno bliskim lokalnim mjerenjima u redovnoj meteorološkoj mreži postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda i vremenskim nizovima iz klimatološke baze E-OBS upućuje na potrebu uklanjanja sustavnih pogrešaka u modelima. Tako je za sve simulacije obavljeno statističko uklanjanje grešaka u modelima u odnosu na E-OBS vrijednosti. Obzirom na razlike između E-OBS nizova i lokalnih mjerenja, obavljena je i dodatna prilagodba na lokalna mjerenja. Klimatske promjene definirane kao razlika između buduće klime (2021-2050. i 2071-2100.) i sadašnje klime (1961-1990.), u sva tri modela ukazuju na porast temperature na sve tri lokacije. Nasuprot tome, trendovi količine oborine pokazuju puno veću varijabilnost u smislu eventualnog predznaka i iznosa promjene i to ovisno o modelu i sezoni.

KLJUČNE RIJEČI: temperatura zraka, oborina, trend, varijabilnost, regionalni klimatski modeli

1. INTRODUCTION

The observed global and regional warming (IPCC, 2007) is also present along the eastern Adriatic coast (MZOPUG, 2006). Eastern Adriatic coast shows a tendency towards drier conditions that is a common feature for the broader European part of the Mediterranean. The fact that precipitation change is highly variable regionally increased the need for more accurate regional and local precipitation change analysis to improve the analysis of impacts. The results of analyses in air temperature and precipitation variability and trend in present and future climates within Cc-WaterS project is aimed to be the input meteorological data for hidrological calculations of water balance needed for estimates and projections of water supply at three test locations at the eastern Adriatic coast.

Three Croatian test beds are located in the Kvarner bay of northern Adriatic Sea on the island of Cres, at the middle Dalmatian coast near Zadar and on the Dalmatian island of Korčula. Their climate is determined by the mid-latitude circulation dominantly modified by the sea, and the high orography of the Dinaric Alps. The climate of the observed catchment Bokanjac near Zadar, which will be presented in this article, is to a lesser extent modified by the hinterland plateau of Ravni Kotari and the islands in the Zadar archipelago. During summer (JJA) this area is under the influence of the subtropical high pressure zone with dry and warm weather.

2. AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION 1951-2009.

The local climate conditions of the Bokanjac catchment are described by the Zadar air temperature and precipitation data from the referent period for the present climate conditions 1961-1990. Seasonality is described in terms of annual cycle of the mean monthly values, and their interannual variability by standard deviations for air temperature and co-

* Climate Change and Impacts on Water Supply, SE Europe Transnational Cooperation Program (http://www.ccwaters.eu)

efficient of variation for precipitation. The discussion of extremes in annual and seasonal averages is based on percentiles calculated from the empirical cumulative distribution function (CDF).

The annual cycle of air temperature monthly averages in the Zadar area has maritime characteristics with autumn (SON) being warmer than spring (MAM) for 2.5°C on average (Table 1 and Figure 1). The winters are mild with average air temperature 7.4°C and the summers are moderate (22.5°C). On average, there is little difference between July (23.6°C) and August (23.1°C) mean temperatures. The coldest month is January (6.7°C), but February can sometimes be the coldest or rarely is December or March.

Standard deviation of mean monthly air temperature ranges between 0.8°C to 1.8°C indicating that interannual variability is small because of a strong influence of the sea, which moderates air temperature extremes. The months of June and July are the least likely to change their thermal character and February is the most unstable. The percentiles that determine extreme values (Fig. 1c and Tab. 1) indicate that the difference between the 98 percentile and the 2 percentile is larger in winter than in summer. The largest difference is in February (5.9°C) and then in January (5.8°C) and March (5.5°C), probably due to the low air temperatures associated with the cold and dry weather conditions related to the bura wind. The smallest difference occurs in July (2.7°C). The Zadar region has the maritime type of annual precipitation cycle with the lowest amount occurring during the warm period of the year (April to September) (Figure 2.a). In summer it receives only 16% of annual precipitation and the minimum appears in July (35 mm). During the cold half-year (October to March) it receives 60% of the annual total and in autumn 36%. A broad precipitation maximum appears in autumn from September to November, with average monthly amounts between 98 and 119 mm. Coefficient of variation indicates high interannual variation in mean monthly precipitation that range from 44% in April to 93% in October (Figure 2b).

In the region of Zadar the percentiles for monthly precipitation and their deviation from the median show higher values in the period from September to December. Monthly precipitation amount that is exceeded once in 50 years (the 98 percentile) show the largest deviation from the median in October (284 mm). The annual precipitation above 1067 mm can be expected once in ten years and above 1290 mm once in 50 years (Fig. 2c). For the upper percentiles (longer return periods) the autumn amounts are practically twice as large as those in spring, meaning that the differences in the rain abundant springs and autumns are more pronounced than in their averages (Table 1). Extremely dry seasons are those with precipitation amounts lower than the 2 percentile. Annual cycle follows that of mean precipitation, having the lowest value of the 2 percentile in summer and the highest in autumn. Extremely dry months with precipitation amounts lower than the 2 percentile are from July to October, and January, when there may be no precipitation at all. In May and June the 2 percentile is less than 10 mm. In November the extremely dry month can receive up to 26 mm.

	A	DJF	MAM	JJA	SON	A	DJF	MAM	JJA	SON
	Air temperature (°C)					Precipitation (mm)				
avg	14.7	7.4	13.2	22.5	15.7	915.5	244.5	194.6	149.9	328.2
stdev	0.3	1.0	0.8	0.5	0.8	181.7	87.9	58.7	56.8	141.0
c_v (%)						20	36	30	38	43
max	15.2	9.1	14.5	23.5	17.3	1433.9	384.1	321.5	248.1	674.4
min	14.1	4.5	11.6	21.5	14.2	610.5	50.9	68.0	24.6	66.1
Percentiles										
1	14.1	4.8	11.7	21.6	14.3	628	57	75	33	86
2	14.1	5.2	11.8	21.6	14.3	645	64	82	41	105
5	14.2	5.8	12.0	21.8	14.4	674	82	105	54	155
95	15.1	8.9	14.1	23.3	17.0	1154	370	276	233	538
98	15.2	9.0	14.3	23.4	17.2	1290	380	303	240	601
99	15.2	9.1	14.4	23.4	17.3	1362	382	312	244	638

Table 1 Basic annual (A) and seasonal statistics for Zadar, 1961-1990.

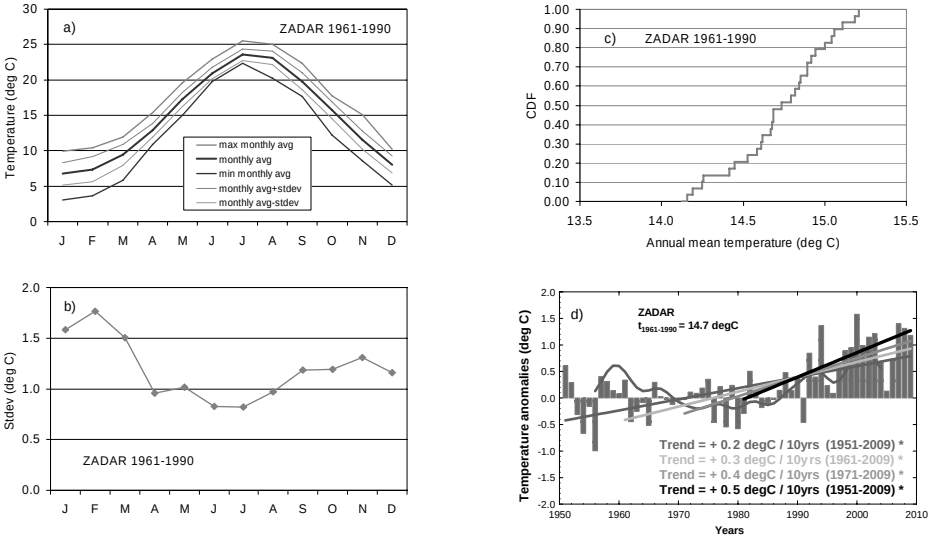


Figure 1 Annual cycle of mean monthly air temperature (a) and standard deviation (b), cumulative distribution of mean annual air temperature (c) and time series of mean annual air temperature, fitted linear trends and weighted 11-year binomial moving average series for the period 1951-2009 (d).

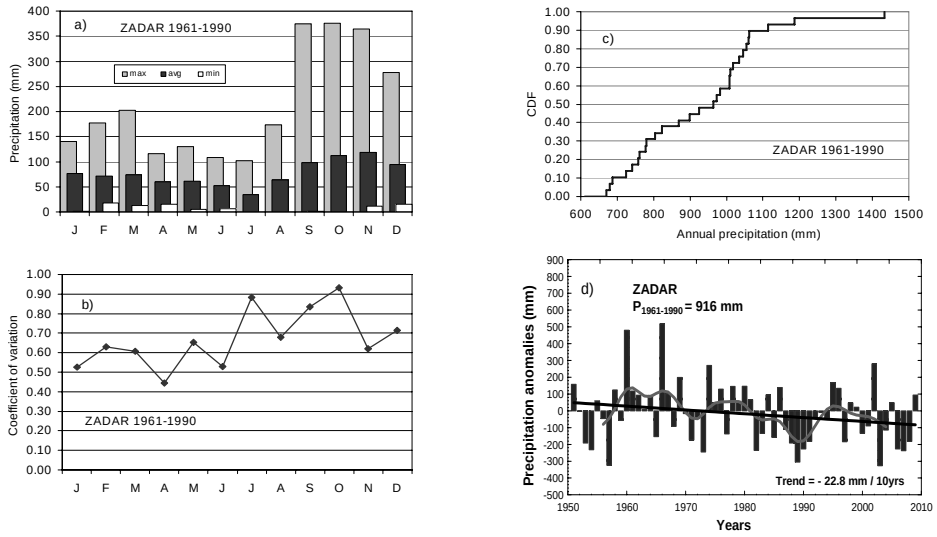


Figure 2: Annual cycle of mean monthly precipitation (a), standard deviation and coefficient of variation (b), cumulative distribution of annual precipitation (c) and time series of annual precipitation, fitted linear trends and weighted 11-year binomial moving average series for the period 1951-2009 (d).

3. TRENDS IN TEMPERATURE AND PRECIPITATION

Linear trends have been estimated for the annual and seasonal data series in the period 1951-2009. They have been tested for significance by the non-parametric Mann-Kendall rank statistics t (Mitchell et al., 1966). For the time series showing the significant trend, a progressive analysis of the time series was performed by the statistic u(t) in order to determine the beginning of trend (Sneyers, 1990). The short-term fluctuations were eliminated by the weighted 11-year binomial moving average filter and new series showed the longer time scale changes more clearly (Böhm et al, 2001).

According to the data from the period 1951-2009 statistically significant increase in the mean annual air temperature of 0.2°C per decade is present since 1997. It is amplified within recent shorter periods towards the end of the first decade of the 21st century (Fig. 1d). This is in accordance with observed regional and global warming. The consequence of the faster atmosphere warming during the last period is that seven out of ten warmest years since the middle of the 20th century, were recorded since 1998. The positive annual air temperature trend is the result of positive trends in all seasons. They are statistically significant for summer (+0.28°C/10yrs), spring (+0.25°C/10yrs) and autumn (+0.15°C/10yrs). The progressive trend test initially indicates positive trends in 1990s, becoming significant for summer in 1998, for spring in 2000 and for autumn not earlier than at the end of the observed period in 2008. Positive trends for winter and autumn are of the same intensity, but that for winter is not significant.

The annual precipitation anomalies show large interannual variability during the observed period 1951-2009 (Fig. 2d). Linear trend shows a decreasing tendency i.e. a reduction with time over the region of Zadar, but not statistically significant. The contribution to

the decrease in the annual totals came from the small reduction of seasonal precipitation totals in winter (-13.2mm/10yrs), autumn (-8.7mm/10yrs) and summer (-5.8mm/10yrs).

4. SIMULATIONS OF REGIONAL CLIMATE MODELS

Present and future climate simulations using three limited area models are analyzed. The models are Aladin (Bubnova et al., 1995), Promes (Castro et al., 1993) and RegCM3 (Pal et al., 2007). For 2m temperature and precipitation, time series for each model were considered and for present climate they are compared with local observations and with the E-OBS data (Haylock et al., 2008). There are three types of model data in this framework: 1) regional climate model (RCM) output: regridded to E-OBS grid (Jones, 1999); 2) RCMcorr: bias corrected model output by E-OBS data (Déqué 2007, Formayer and Haas 2010); 3) RCMcorr_adj: further adjusted model

time-series due to differences between E-OBS data and local observations.

Fig. 3 shows comparison of RCMcorr with local observations and E-OBS data. The time period considered is 1951-2000 for both corrected model results and observations. E-OBS and model data are for the point (φ = 44°7'30'' N, λ = 15°22'30'' E) that, due to the finite E-OBS spatial resolution, roughly corresponds to the meteorological station Zadar. For this test bed there is a notable correspondence between E-OBS and local observations. Annual cycle of temperature and precipitation (Fig. 3 a and b) follows local observations very closely. Largest differences for temperature are during winter and for precipitation during spring and autumn. In terms of variability (Fig. 3 c and d), the E-OBS temperature is slightly more variable during winter than the other temperature time series and the models seem to follow local observations more closely than E-OBS.

For variability of precipitation, described by coefficient of variation, models also follow local observations, although their time series were corrected using E-OBS. Fig. 3 e and f shows time series of mean annual temperature and annual precipitation amount. Temperature trends are statistically significant for all time series except E-OBS. Fig. 3 g and h show empirical cumulative distribution functions (CDF) of mean annual temperature and annual precipitation amount. As in the case of the annual time series, E-OBS differs from local observations for temperature, but in case of precipitation follows local observations. Further adjustment should

reduce cold bias in RCMcorr, which is a consequence of the E-OBS bias. For both temperature and precipitation, CDFs of all datasets show similar behaviour. The relative good model perfomance is a consequence of statistical bias correction applied to raw model output (not shown).

Adjustment differences are applied to RCMcorr time series in order to create RCMcorr_adj. For each month, they represent the mean difference between each model and local observation during 1961-1990. This is not a standardized adjustment procedure and it is based on the recommendations made during the CC-WaterS TW3.3. The adjustment reduces warm bias throughout the year, but for precipitation the sign of correction is not uniform, it depends on month. The amplitude of adjustment differences is similar for different models. After applying adjustment, an improvement in annual cycle for both temperature and precipitation is achieved. Variability of both temperature and precipitation is not changed. Time series of mean annual temperature and CDFs for temperature are af-

ter adjustment shifted towards local observations. However, the changes in precipitation amounts are less clear. The Promes CDFs of temperature and precipitation for extreme values are closer to local observations than for the other two models.

Time series of potential future mean annual temperature and annual precipitation amounts are shown in Fig. 4 and Fig. 5. The simulations of future climate are done under IPCC SRES A1B scenario (Nakićenović et al, 2000). For Promes model data were available for 100 years only. Trends for RegCM3 and Aladin data are calculated from 150 years time series and for Promes from 100 years. Temperature trends are significant at the 5% confidence level for each model and at both seasonal and annual scales. Trend in annual precipitation amount is significant only for Aladin with the tendency -11.4 mm/10yr.

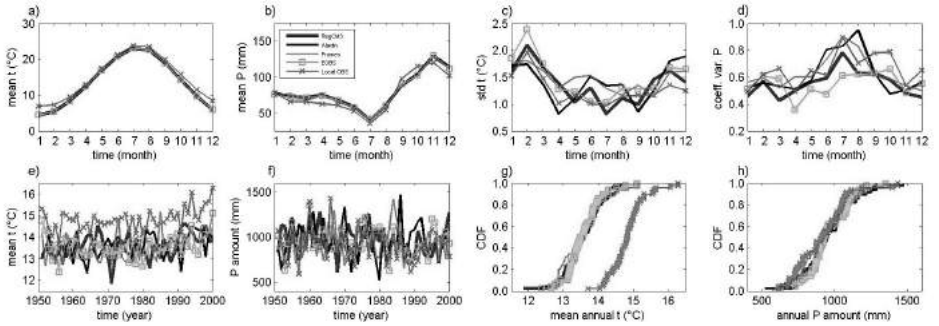


Figure 3: The Bokanjac catchment: annual cycle a) mean monthly temperature, b) monthly precipitation amount; standard deviation c) mean monthly temperature, d) monthly precipitation amount (full lines) and coefficient of variation (dashed lines); time series e) mean annual temperature, f) annual precipitation amount; CDFs g) mean annual temperature, h) annual precipitation amount. Model time series are RCMcorr.

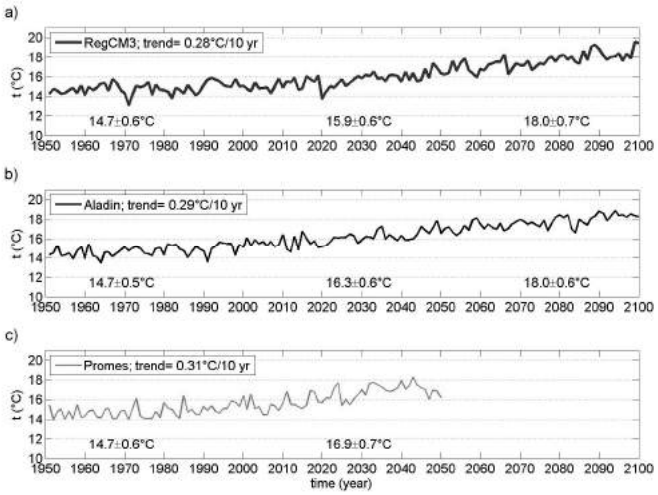


Figure 4: The Bokanjac catchment: annual mean temperatures a) RegCM3 b) Aladin c) Promes. In each panel decadal trend based on entire available time series is shown. Additional numbers at the bottom of each panel are mean values and standard deviations during P0, P1 and P2.

CONCLUSION

The combined influence of observed meteorological parameters, air temperature and precipitation, effects water balance components. The detected increase in air temperature in warm season causes an increase in evapotranspiration. Together with a decreasing tendency in precipitation, the precipitation deficit is expected to become larger in the warm season. In the cold part of the year runoff and the filling of aquifers could be reduced due to negative precipitation trend.

The analysis for this test bed show that local observations are warmer when compared to E-OBS data. Although some differences in precipitation time series do exist, they are not large. Variability of temperature, expressed in terms of standard deviation is higher in E-OBS data and standard deviation of precipitation is higher in local data.

Generally, models underestimate temperature in the cold part of the year and Aladin and Promes overestimate temperature during the warm part of the year. All this differences were removed after the correction method was applied, and, importantly, the corrections did not make major changes in variability and trends. Direct RCM simulation of Aladin precipitation has similar characteristics to those of local observations. This suggests that a higher weight might be given to Aladin simulations of future precipitation rather than to the other models.

When comparing P0 and P1 time periods, the highest temperature increase is found with the Promes model. By the end of the 21st century, Aladin and RegCM3 give the same amplitude of changes in temperature means. The changes in precipitation annual means are not to be expected in P1 when comparing with P0. However, when comparing P2 and P0 a decrease in precipitation becomes statistically significant in the Aladin model.

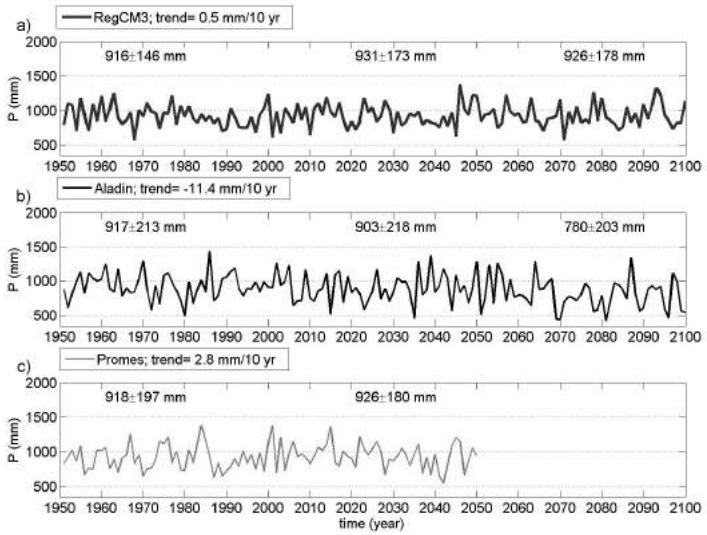


Figure 5: The Bokanjac catchment: annual precipitation amounts a) RegCM3 b) Aladin c) Promes. In each panel decadal trend based on entire available time series is shown. Additional numbers at the bottom of each panel are mean values and standard deviations during P0, P1 and P2.

REFERENCES

[1] Böhm, R., Auer, I., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T. & Schöner, W. (2001): Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series. Int. J. Climatol. 21, 1779-1801.

[2] Bubnova, R., Hello, G., Bénard, P., Geleyn, J-F. (1995): Integration of the fully elastic equations cast in hydrostatic pressure terrain-following coordinate in the framework of the ARPEGE/Aladin NWP system. Mon. Wea. Rev., 123, 515-535.

[3] Castro M., Fernández C., Gaertner M. A. (1993): Description of a meso-scale atmospheric numerical model. In: J. I. Díaz, J. L. Lions (eds), Mathematic, climate and environment, Masson.

[4] Déqué M. (2007): Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values, Global and Planetary Change, 57, 16–26.

[5] Formayer, H., Haas P. (2010): Correction of RegCM3 model output data using a rank matching approach applied on various meteorological parameters. In Deliverable D3.2 RCM output localization methods (BOKU-contribution of the FP 6 CECILIA project on http://www.cecilia-eu.org/).

[6] Haylock, M. R., N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, M. New. (2008): A European daily high-resolution grided data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. J. Geophys. Res., 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201.

[7] Jones, P. W. (1999): First- and second-order conservative remapping schemes for grids in spherical coordinates. Mon. Wea. Rev., 127, 2204–2210.

[8] Mitchel, J. M. Jr. at al. (1966): Climatic Change. WMO Tech. Note No. 79, pp 79.

[9] MZOPUG, 2006: Observed Climate Change in Croatia. In: Second, Third and Fourth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction (MZOPUG), 63-65

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/4903.php

[10] Nakićenović N, 27 co-authors (2000): Special report on emission scenarios. A special report of working group III of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, 599 pp.

[11] Pal, J. S., Coauthors, (2007): Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCNET, Bull. Amer. Meteor. Soc., 88, 1395-1409.

[12] Sneyers, R., 1990. On the Statistical Analysis of Series of Observations. WMO Tech. Note No. 143, Geneve.

AUTORI:

dr. sc. Marjana Gajić-Čapka [1]
Ivan Güttler, dipl. ing. fiz. [2]
dr. sc. Čedo Branković [3]

Meteorological and Hydrological Service, Grič 3, HR-10000 Zagreb, Croatia

[1] capka@cirus.dhz.hr,

[2] guettler@cirus.dhz.hr,

[3] brankovic@cirus.dhz.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.05.

ANALIZA KLIMATSKIH PROMJENA / VARIJACIJA NA PILOT PODRUČJIMA U HRVATSKOJ

Josip Rubinić, Bojana Horvat, Josip Terzić, Tomislava Bošnjak

SAŽETAK: Prisutne klimatske promjene i/ili varijacije manifestiraju se promjenama u vodnoj bilanci. U okviru projekta CC-waterS, poseban je naglasak stavljen na istraživanje njihova utjecaja na vodoopskrbu. Obrađivana pilot područja u Hrvatskoj su Bokanjačko blato kod Zadra, Blatsko polje na Korčuli te Vransko jezero na Cresu. Temeljna podloga bili su podaci o oborinama i temperaturama (1950.-2009.), kao i procjene njihovih promjena za razdoblja 2021.-2050. i 2071.-2100. Te su klimatološke procjene provedene po modelima Aladin, Promes i RegCM3. Hidrološke procjene vodne bilance u postojećim hidrološkim prilikama, kao i u situacijama prognoziranih promjena, provedene su regionalno najviše korištenim modelima Turca i Langbeina. Dobiveni rezultati pokazuju da bi se, u slučaju ostvarenja danih prognoza, srednje godišnje protoke do sredine stoljeća mogle smanjiti za 10-20%, a do kraja 21. stoljeća i 30-50%. Smanjenje infiltracije u krškim terenima neminovno će dovesti do smanjenja razine podzemnih voda, a time i do čestih i intenzivnijih prodora morske vode. Najgori scenariji su dobiveni za Blatsko polje i Bokanjačko blato, dok su rezultati za Vransko jezero na Cresu nešto povoljniji.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske promjene/varijacije, vodna bilanca, priobalni krški vodonosnici

ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE / VARIATIONS IN PILOT SITES IN CROATIA

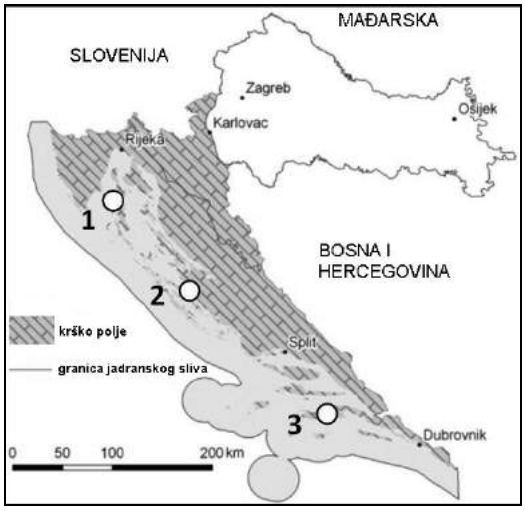
SUMMARY: Existing climate change and/or variations are manifested in changes in water balance. Within the CC-WaterS project framework, special emphasis was given to their impact on water supply. In Croatia, three pilot sites were chosen as research areas, namely Bokanjačko blato, Blatsko polje and Vrana lake. Research was based on time series of precipitation and temperature data (1950-2009) followed by the estimation of the changes of both parameters for the time periods 2021-2050 and 2071-2100. Three models were employed to assess climate change: Aladin, Promes and RegCM3. Hydrological estimations of water balance were performed on a regional scale applying Turc's and Langbein's models as the most frequently used models, for the existing hydrological conditions as well as the predicted conditions in terms of climate change. Assuming the feasibility of the predictions, results show that mean annual recharge will decrease from 10-20% till the

mid and 60-50% by the end of the 21st century respectfully. Decrease in infiltration into karst bedrock will inevitably lead to decrease in groundwater levels and consequently to frequent and more intensive seawater intrusions. The worst scenarios were predicted for Blatsko polje and Bokanjačko blato while the results for Vrana lake (Cres) are slightly better.

KEY WORDS: climate change/variations, water balance, coastal karst aquifers

1. UVOD

Klimatske promjene i/ili varijacije koje su prisutne u recentno doba imaju svekoliki utjecaj na vodne sustave. Njihov je utjecaj, kao i očekivane daljnje promjene, posebno izražen na području Mediterana (Bolle i sur, 2003, Lionello i sur, 2006). Taj se utjecaj naročito manifestira na promjenama u vodnoj bilanci, kojima mogu biti ugroženi kako ekosustavi prirodnih vodnih sustava, tako i mogućnosti korištenja voda. U okviru međunarodnog projekta CC-waterS (http://www.ccwaters.eu), sastavni dio kojeg su i rezultati provedenih istraživanja u predloženom radu, poseban je naglasak stavljen na istraživanje utjecaja koje bi prognozirane promjene klimatskih značajki imale na osiguranje voda za vodoopskrbu. Radi se o projektu u koji je uključeno devet zemalja s područja jugoistočne Europe (SEE), a u okviru kojeg su s područja Hrvatske odabrana tri pilot područja – Bokanjačko polje kod Zadra, Blatsko polje na Korčuli te Vransko jezero na otoku Cresu (Slika 1).



Slika 1. Prikaz odabranih pilot područja u Hrvatskoj: 1-Vransko jezero na Cresu, 2-Bokanjačko blato kod Zadra, 3-Blatsko polje na Korčuli

U okviru realizacije početne nacionalne razine tog projekta provedene su, od strane meteorologa DHMZ-a (Gajić-Čapka i sur, 2010), procjene mjesečnih i godišnjih podataka o oborinama i temperaturama za razdoblje do završno 2100.g. po nekoliko prognostičkih modela (Aladin i RegCM3, kao i modelom Promes koji ima mogućnost prognoze samo do 2050.g.). Temelj tih procjena bili su podaci o mjesečnim i godišnjim količinama obo-

rina te srednjim mjesečnim i srednjim godišnjim temperaturama zraka (1950.-2009.) s odabranih klimatoloških postaja relevantnih za pojedina pilot područja. Na osnovu tako generiranih vremenskih serija provedene su hidrološke obrade u kojima je analiziran bilančni utjecaj takvih promjena na vodne resurse koji se koriste za vodoopskrbu. Razlozi za odabir spomenutih pilot područja u Hrvatskoj bili su sljedeći:

- nalaze se u priobalnom području i njihovi krški vodonosnici se dinamički uravnotežuju s morem,
- njihovi vodni resursi se koriste za javnu vodoopskrbu,
- i u postojećem stanju na dvama od njih (Blatsko polje i Bokanjačko blato) postoje izraženi problemi oko osiguranja količine i kakvoće vode. Kod kriptodepresije Vranskog jezera na otoku Cresu za sada ne postoje problemi njegovog prekomjernog zaslanjivanja, ali u slučaju dugotrajnijeg djelovanja nepovoljnih hidroloških prilika zbog specifičnosti otočkog krškog vodonosnika i položaja dna jezera, štetne posljedice precrpljivanja bi mogle biti nesagledive.

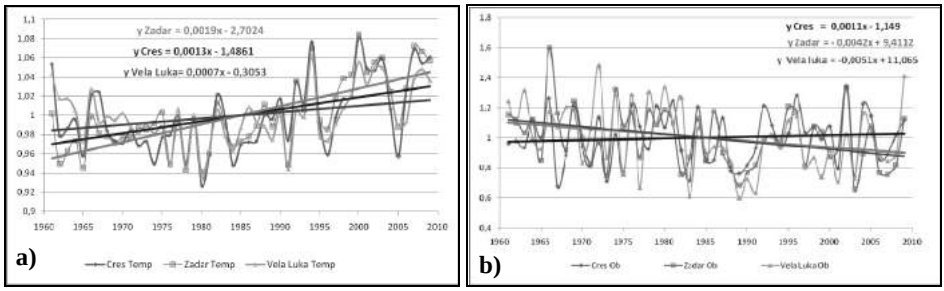
Naime, već i pri postojećoj razini korištenja voda (2000.-2007.) lokalitet Bokanjačkog blata nalazi se u kategoriji vodnih tijela podzemne vode (GWB) čije je stanje ocijenjeno lošim. Uz to, provedene procjene prema WFD (2000) za razdoblje do 2015.g. pokazuju da rizik lošeg kvantitativnog stanja, vjerojatno postoji i na analiziranim otocima (Geotehnički fakultet, 2009). Stoga su za upravljanje analiziranim vodnim resursima posebno interesantne procjene količinskih promjena i na duljoj vremenskoj skali, kada postoji još veći rizik od nepoželjnih promjena.

Ono što još karakterizira odabrana pilot područja je pak otegotna okolnost za provedbu pouzdanijih kvantificiranih procjena - na analiziranim lokalitetima nema hidroloških praćenja razina podzemnih voda, kao ni praćenja dotoka podzemnih voda, već se jedino prate razine vode u Vranskom jezeru. Također je otegotna okolnost da je vrlo teško odrediti i pouzdanost samih procjena scenarija mogućih klimatskih promjena/varijacija iz razloga što se radi o ekstrapolaciji mogućih stanja na temelju klimatoloških analiza provedenih unutar drugačijeg raspona zabilježenih klimatoloških značajki. Kako se modeliranje klimatoloških promjena temelji na stohastičkom modeliranju vrlo složenih procesa na koje utjecaj imaju različiti procesi i utjecaji koje se i pod antropogenim utjecajima dijelom mogu mijenjati tijekom razdoblja za koje se provodi prognoza budućih promjena, hidrološke procjene temeljene su na analizama rezultata više spomenutih različitih klimatoloških prognostičkih modela. Namjena dobivenih rezultata nije bila da se pokušaju dobiti neki čvrsti i pouzdani scenariji koji nas kronološki očekuju, već da se dobiju podloge s kojima će se moći prodiskutirati smjerovi i rasponi takvih promjena. Također je jedna od namjena bila i da se osiguraju podloge kojima bi se utjecalo na poboljšanje monitoringa stanja postojećih i budućih hidroloških prilika te pripreme koncepti za traženje i realizaciju alternativnih rješenja osiguranja vodoopskrbe na analiziranom području u mogućim kritičnijim hidrološkim prilikama.

2. METODOLOGIJA OBRADE I PODLOGE

Za svako su pilot područje korišteni podaci najbliže klimatološke postaje s pouzdanim raspoloživim nizovima opažanja srednjih mjesečnih i godišnjih temperatura zraka, kao i ukupnim mjesečnim i godišnjim oborinama iz razdoblja (1951. – 2009.), kao i prostorna

raspodjela srednjih godišnjih temperatura i količina oborina za referentno 30-godišnje razdoblje 1961.-1990. (Gajić-Čapka i sur, 2002). Naime, ocijenjeno je da je s obzirom na relativno male slivove analiziranih pilot područja (sliv Blatskog polja površine cca 21 km2, Vranskog jezera 32 km2 te Bokanjačkog blata 91 km2) sasvim dovoljno klimatske promjene razmatrati na lokalitetu jedne klimatološke postaje, ali uz povezivanjem istih s prostornom raspodjelom analiziranih parametara po čitavom slivu. Kao relevantna za Bokanjačko blato odabrana je postaja Zadar, za Vransko jezero postaja Cres, a za Blatsko polje na Korčuli postaja Vela Luka. Na Slici 2 prikazani su karakteristični hodovi njihovih godišnjih modularnih vrijednosti. Vidljivo je da na svim analiziranim postajama postoji izraženi trend povećanja srednjih godišnjih temperatura zraka, ali s vrlo različitim intenzitetom trenda te promjene – kod postaje Vela Luka taj trend iznosi +0.07% godišnje, Cresa +0.13%, a Zadra +0.19%, odnosno povećanje od čak 2.9 0C/100 godina. Što se tiče trenda hoda godišnjih količina oborina tu je situacija još promjenjivija – kod Zadra i Vela Luke prisutan je trend opadanja godišnjih količina oborina od -0.42% i -0.51%, a nasuprot tome na Cresu je prisutan trend njihova blagog povećanja od +0.11%. Spomenuti registrirani podaci o temperaturama zraka i oborinama bili su podloga meteorolozima DHMZ-a za generiranje sintetičkih nizova njihovih vremenskih podataka tijekom narednog stoljeća, pri čemu su korišteni modeli RegCM3 i Aladin i Promes (Gajić-Čapka i sur, 2010).

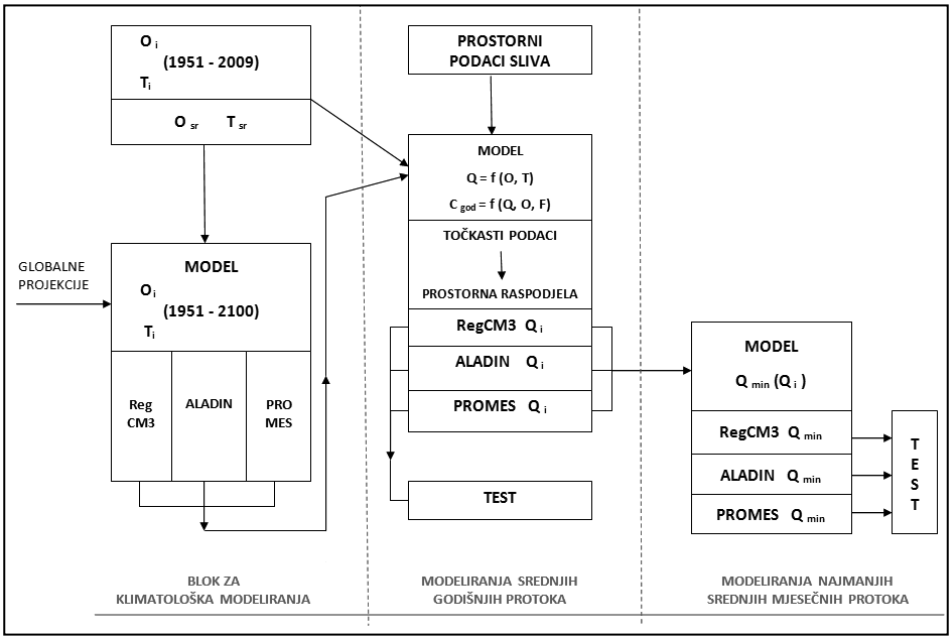


Slika 2. Hod modularnih vrijednosti: a) srednjih godišnjih temperatura
b) godišnjih oborina

Generalna shema provedenog postupka modeliranja dotoka dana je na Slici 3. Modeliranje efektivne infiltracije oborina u krške vodonosnike, izražene preko rezultirajućih srednjih godišnjih protoka, provedeno je na temelju rezultata klimatoloških mjerenja i modeliranja za odabrana slivna područja, a kojima su granice određene na temelju raspoloživih hidrogeoloških saznanja. Te su hidrološke procjene provedene metodološkim pristupima Turca (1954) i Langbeina (1962), unaprijeđenim za rad u GIS okruženju (Horvat i Rubinić, 2006). Obzirom da podaci s referentnih klimatoloških postaja ne predstavljaju ujedno i prosječne, utvrđeni su međuodnosi u vidu redukcijskih koeficijenata takvih „točkastih" podataka s njihovom prostornom raspodjelom po čitavom slivu tijekom referentnog 30-godišnjeg razdoblja (DHMZ, 2002). Odabir odgovarajućeg modela hidrološke procjene za svaku od analiziranih lokacija proveden je na osnovu analize rezultirajućih godišnjih koeficijenata otjecanja. Pri tome su korišteni rezultati ranijih regionalnih obrada godišnjih otjecajnih koeficijenata hrvatskog krša (Srebrenović, 1986; Bonacci, 1987; Žugaj, 1995), kao i helenskog krša (Soulios, 1984) s obzirom da se očekuje da bi se nastupanjem sušnijih

hidroloških prilika na analiziranom području uvjeti otjecanja približili međuodnosima koji sada vladaju na području helenskog krša. Kod Vranskog jezera na Cresu provedena je i usporedba rezultata provedenih modeliranja u ovom radu s rezultatima ranijih detaljnijih modelskih preispitivanja (Ožanić i Rubinić, 1994).

Kao reprezent unutargodišnje raspodjele sušnih hidroloških prilika odabran je parametar najmanje srednje mjesečne protoke. Na temelju rezultata provedenih analiza o međuodnosima srednjih godišnjih protoka i najmanjih srednjih mjesečnih protoka na sličnim lokalitetima s hidrološkim praćenjima u širem regionalnom prostoru analiziranih pilot područja, utvrđeni su regresijski odnosi koji su aplicirani i na vremenske serije generiranih podataka o srednjim godišnjim protocima tih pilot područja.

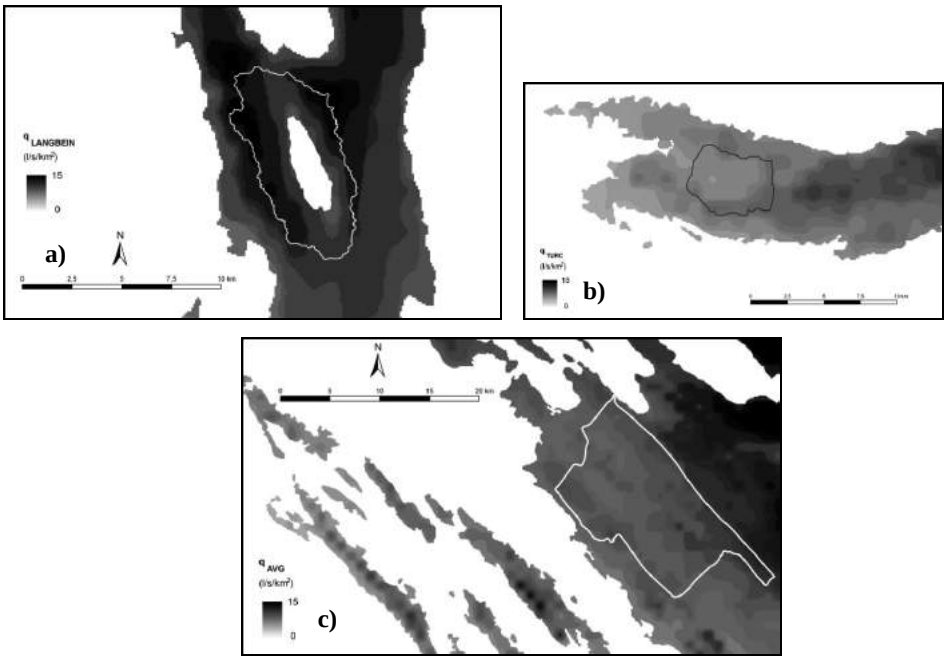


Slika 3. Modelski pristup određivanja karakterističnih godišnjih i mjesečnih protoka

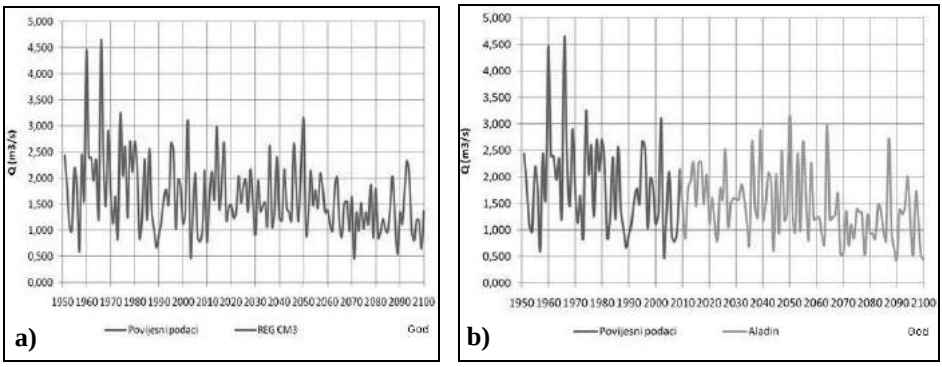
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu podloga i metodologije dane u t. 2 ovog rada, provedene su obrade za odabrana pilot područja u Hrvatskoj. Kao relevantni rezultati provedene obrade prostorne raspodjele specifičnih godišnjih protoka za referentno 30-godišnje razdoblje (1961.-1990.) usvojeni su za sliv Vranskog jezera na Cresu rezultati dobiveni po modelu Langbeina, za sliv Blatskog polja na Korčuli rezultati dobiveni po modelu Turca, a za sliv Bokanjačkog blata rezultati dobiveni kombinacijom/osrednjavanjem rezultata ovih dvaju modela (Slika 4).

Na temelju u t. 2 iznijete metodologije, provedene su i procjene srednjih godišnjih protoka za analizirana pilot područja, i to sva tri korištena modela. Provedenom usporedbom utvrđeno je da su najprikladniji rezultati oni koji su generirani na temelju klimatoloških procjena po modelu Aladin, a koji i daju nešto niže vrijednosti, pogotovo pri kraju

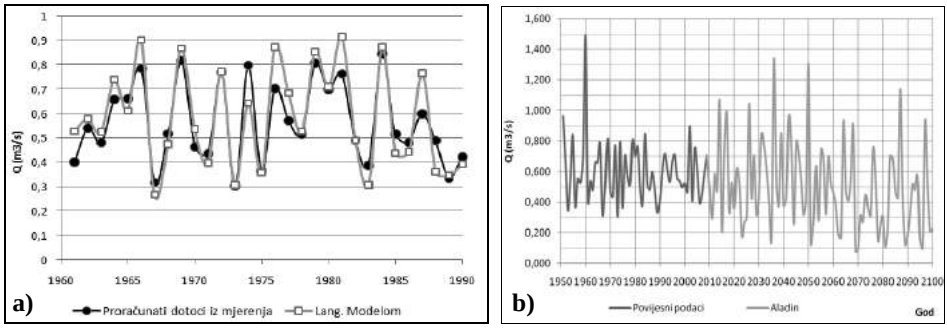


Slika 4. Prostorna raspodjela specifičnih godišnjih protoka za analizirana pilot područja: a) Vransko jezero na Cresu, b) Blatsko polje na Korčuli, c) Bokanjačko blato kod Zadra



Slika 5. Prikaz osmotrenih i generiranih vrijednosti srednjih godišnjih protoka za sliv Bokanjačkog blata:
a) na osnovi podloga generiranih modelom RegCM3, b) modelom Aladin

stoljeća, nego li po modelu RegCM3. Rezultati dobiveni modelom Promes relativno su bliski rezultatima dobivenim po modelu RegCM3, ali zbog okolnosti da je generirani vremenski niz ograničen zaključno s 2015.g., isti u ovom radu nisu detaljnije razmatrani. Kao primjer dobivenih rezultata modeliranja srednjih godišnjih protoka odabrani su rezultati za sliv Bokanjačkog blata (Slika 5). Iz njih je vidljivo da bi se kao posljedica daljnjeg pogoršanja klimatskih prilika (povećanja temperatura i smanjenja oborina) sve

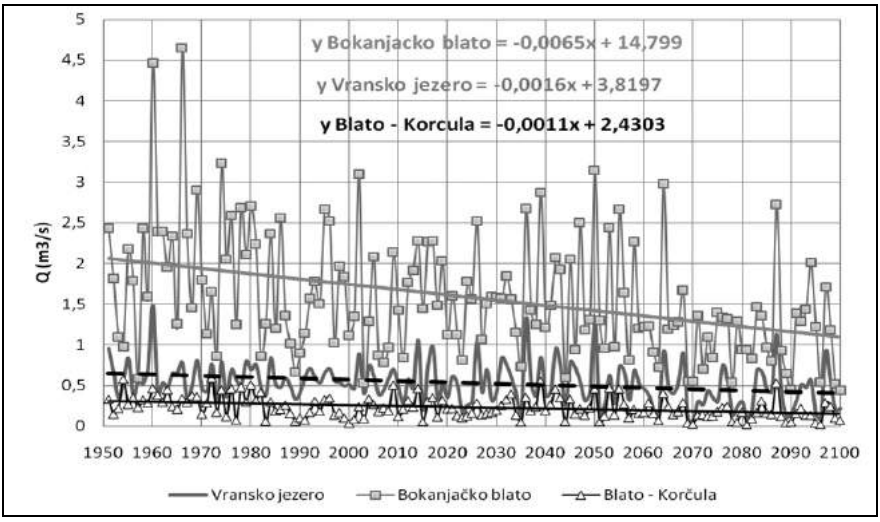


Slika 6. Rezultati provedenih modeliranja na pilot području Vranskog jezera na otoku Cresu: a) Usporedba rezultata (1961.-1990.), b) Rezultati na osnovi modela Aladin

češće mogle javljati godine s iznimno niskim, do sada i nezabilježeno niskim vrijednostima srednjih godišnjih protoka.

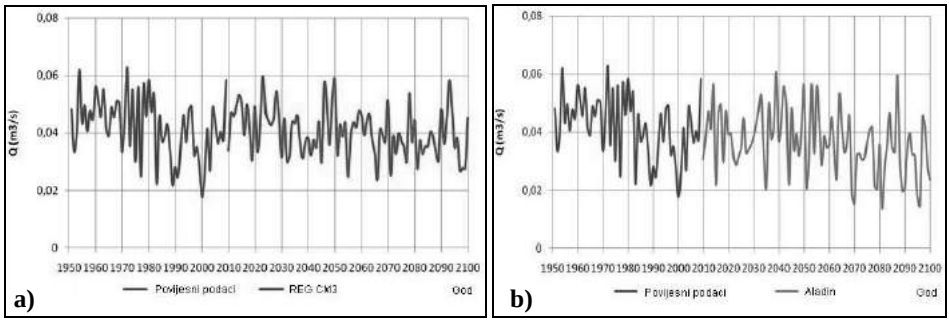
Za sliv Vranskog jezera na Cresu provedena je, za referentno razdoblje 1961.-1990. usporedba rezultata modeliranja srednjih godišnjih protoka dobivenih pomoću u ovom radu korištenog modela Langbeina i rezultata modeliranja dobivenih na osnovu analiza mjerenih podataka o dinamici kolebanja Vranskog jezera (Ožanić i Rubinić, 1994), a koji su pokazali vrlo dobru podudarnost (Slika 6a). Za projekciju budućih hidroloških prilika do 2100.g., odabrani su rezultati modeliranja temeljeni na generiranim klimatološkim serijama podataka po modelu Aladin (Slika 6b).

Interesantna je i usporedba usvojenih rezultata provedenih modeliranja temeljenih na klimatološkim procjenama do 2100.g. modelom Aladin (Slika 7). Iz nje je vidljivo da



Slika 7. Hod osmotrenih i generiranih srednjih godišnjih protoka analiziranih pilot područja u Hrvatskoj (1951.-2100.) – temeljeno na klimatološkim procjenama modelom Aladin

unatoč periodičnosti izmjene pojava sušnijih i vodnijih raspona duž čitavog osmotrenog razdoblja (1951.-2009.), kao i generiranog razdoblja (2010.-2100.), postoji izražen trend opadanja srednjih godišnjih protoka na sva tri analizirana pilot područja.



Slika 8. Prikaz osmotrenih i generiranih vrijednosti najmanjih srednjih mjesečnih protoka za sliv Blatskog polja na Korčuli:
a) na osnovi podloga generiranih modelom RegCM3, b) modelom Aladin

Kao primjer provedenih procjena najmanjih srednjih mjesečnih protoka po pojedinim godinama zaključno s 2100.g. odabrani su rezultati provedenih modeliranja na Blatskom polju na Korčuli. Na Slici 8 dan je usporedni prikaz rezultata dobivenih korištenjem klimatoloških podloga generiranih modelom RegCM3, kao i modelom Aladin. I tu su kao prihvatljiviji odabrani rezultati dobiveni modelom Aladin, a koji pokazuju da se u razdoblju do 2100.g., posebice tijekom zadnjih 30-tak, na tom slivnom području može očekivati učestalija pojava iznimno niskih srednjih mjesečnih dotoka.

ZAKLJUČAK

Provedene analize mogućeg utjecaja klimatskih promjena na vodne resurse odabranih pilot područja u Hrvatskoj (Vransko jezero na Cresu, Bokanjačko blato kod Zadra i Blatsko polje na Korčuli) pokazale su kako različiti modeli prognoza promjena klimatskih pokazatelja rezultiraju i različitim scenarijima intenziteta utjecaja tih promjena na odabrane bilančne pokazatelje vodnih resursa. Kao pokazatelji odabrane su vrijednosti srednjih godišnjih i najmanjih srednjih mjesečnih protoka.

Rezultati provedenih obrada temeljeni na klimatološkim procjenama po modelu Aladin dali su ekstremnije prognozirane vrijednosti srednjih godišnjih protoka u usporedbi s rezultatima dobivenim korištenjem RegCM3 modela, kao i modela Promes. Ocijenjeno je da bi se, u slučaju da se ostvare prognozirani klimatski scenariji, tijekom razdoblja 2021.-2050. srednje godišnje protoke na analiziranim lokalitetima mogle smanjiti za 10-20%, a pred kraj stoljeća to bi smanjenje moglo biti i naglašenije – čak i do 30-50%. Slični, pa i još kritičniji rezultati dobiveni su provedenim analizama pojava najmanjih srednjih mjesečnih protoka. Smanjenje srednjih godišnjih, te najmanjih srednjih mjesečnih protoka, odnosno u slučaju analiziranih krških vodonosnika smanjenje efektivne infiltracije u krško podzemlje, moglo bi imati za posljedicu sniženje razina podzemnih voda, te češće i intenzivnije pojave zaslanjenja voda koje se zahvaćaju za vodoopskrbu. Najgori scenarij predviđa se za Blatsko polje na otoku Korčuli, kao i sliv Bokanjačko blato kraj Zadra, dok

se za Vransko jezero na otoku Cresu predviđa nešto manji intenzitet tih promjena.

Ovisno o lokalitetu i korištenom prognostičkom modelu dobiven je vrlo širok spektar rezultata, no koji nedvojbeno ukazuje na moguće značajnije pogoršanje bilančnih međuodnosa vodnih resursa ukoliko se nastave tendencije zabilježenih recentnih klimatskih promjena/varijacija.

Zahvala

Projekt CC-WaterS financira Europska unija putem Europskog fonda za regionalni razvitak (ERDF) u sklopu programa transnacionalne suradnje jugoistočne Europe (SEE-TC). Autori posebno zahvaljuju vodećem partneru u projektu, Bečkom vodovodu iz Austrije, te hrvatskom partneru u projektu, Hrvatskim vodama.

LITERATURA

[1] Bolle, HJ, (ed.) (2003): Mediterranean Climate, Variability and Trends, Springer Verlag, Berlin, 320.

[2] Bonacci, O, (1987): Karst Hydrology. Springer Verlag, Berlin, Germany, 184.

[3] Gajić-Čapka, M; Güttler, I; Branković, Č, (2010): Contribution to CC-WaterS project: a study of climate and climate change for three test bed sin Croatia, Meteorological and hydrological service, Zagreb, unpublish.

[4] Gajić-Čapka, M; Patarčić, M; Perčec Tadić, M; Srnec, L; Zaninović, K, (2002): Meteorološka podloga za Vodnogospodarsku osnovu Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

[5] Horvat, B; Rubinić, J, (2006): Annual runoff estimate - an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. Hydrological Sciences Journal, 51/2, 314-324.

[6] Langbein, W,B, (1962): The Water Supply of Arid Valleys in Intermountain Regions In Relation to Climate, IAHS Bull., Vol.7/1.

[7] Lionello, P; Malanotte-Rizzoli, P; Boscolo, R, (ed.) (2006): Mediteran climate variability. Elseiver, Amsterdam, 422.

[8] Ožanić, N; Rubinić, J, (1994): Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu. Hrvatske vode 2/8, 535-543.

[9] Soulios, G, (1984): Effective infiltration into Greek karst. Journal of Hydrology 75, 343-356.

[10] Srebrenović, D, (1986): Primjenjena hidrologija. Tehnička knjiga, Zagreb, 509.

[11] Turc, L, (1954): Le biland' eau des sols, relation entve les precipitations, l' evaporation et iecoulment, Troisiesme journees del' hydraulique a Alger.

[12] WFD (2000): Okvirna direktiva EU o vodama, Hrvatske vode, Izdanja sv.2, Zagreb, 2001.

[13] Žugaj, R, (1995): Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske, Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, Croatia.

AUTORI

mr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ.[1]
mr. sc. Bojana Horvat, dipl. ing. građ.[2]
dr. sc. Josip Terzić, dipl. ing. geol.[3]
Tomislava Bošnjak, ing. građ.[4]

[1] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, V.C.Emina 5 (jrubinic@gradri.hr)
[2] Hrvatske vode, Zagreb, Ulica grada Vukovara 220 (bojana.horvat@voda.hr)
[3] Hrvatski geološki institut, Zagreb, Sachsova 2 (jterzic@hgi-cgs.hr)
[4] Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, Grič 3(bosnjak@cirus.dhz.hr)

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.06.

SIMULACIJE REGIONALNIM KLIMATSKIM MODELOM S RAZLIČITIM SHEMAMA PARAMETRIZACIJE PROCESA U TLU

Mirta Patarčić, Ivan Güttler, Čedo Branković

SAŽETAK: Dvije simulacije regionalnog klimatskog modela RegCM iznad Europe, koje se međusobno razlikuju u shemi parametrizacije procesa u tlu (BATS i CLM), uspoređene su nad područjem Hrvatske i okolnih država. U oba slučaja izvor početnih i rubnih uvjeta za RegCM je reanaliza ERA-Interim u razdoblju od 1989. do 1993. godine. Zbog međudjelovanja tla i atmosfere, postoje razlike u simulacijama atmosferskih varijabli regionalnim modelom, posebno prizemnih parametara. Rezultati modela uspoređeni su s mjerenjima i prikazana je analiza prizemnih parametara u ovisnosti o odabranoj shemi s naglaskom na varijable povezane s hidrološkim ciklusom.

Usporedba modeliranih temperatura na 2m (T2m) s mjerenjima ukazuje na bolje simulacije RegCM-a s BATS shemom, dok u slučaju oborine konfiguracija RegCM-a s CLM-om daje manja odstupanja od izmjerenih vrijednosti. Više vrijednosti T2m odnosno oborine u simulacijama s BATS shemom utječu na povećanu evapotranspiraciju odnosno površinsko otjecanje u odnosu na RegCM simualcije s CLM shemom. Modelirane visine snijega podjednake su u obje konfiguracije modela.

KLJUČNE RIJEČI: RegCM, hidrološki ciklus, parametrizacija procesa u tlu

REGIONAL CLIMATE MODEL SIMULATIONS WITH DIFFERENT LAND SURFACE PARAMETERISATION SCHEMES

SUMMARY: The Regional Climate Model (RegCM) is used over Europe with two different land surface parameterisation schemes, BATS and CLM. In both cases, RegCM is driven by ERA-Interim data from 1989 to 1993. Due to the land surface-atmosphere coupling, it is expected that the choice of land surface scheme will mostly affect surface parameters in regional model simulations. Model results are compared with observations, and analysis of surface parameters related to hydrological cycle is presented for Croatia and adjacent countries.

The 2m temperature (T2m) simulations with BATS scheme are closer to observations than with CLM, while precipitation biases are smaller in RegCM with CLM scheme. Higher T2m and precipitation amounts in RegCM simulations with BATS lead to a higher

evapotranspiration and runoff, respectively. The difference in snow depths between the two simulations is very small.

KEYWORDS: RegCM, hydrological cycle, land surface parameterisation

1. UVOD

Klimatski modeli, globalni i regionalni, su sustavi koji omogućavaju istraživanje klime, njezine varijabilnosti i klimatskih promjena. Tipična rezolucija globalnih klimatskih modela je reda veličine 200 km. Regionalni klimatski modeli su jedan od načina na koji klimatske simulacije globalnih modela možemo prilagoditi višim prostornim rezolucijama. U postupku dinamičke prilagodbe rezultati simulacija globalnim modelom koriste se za početne i rubne uvjete za regionalni model koji se koristi nad nekim manjim područjem, ali s višom prostornom rezolucijom. Detaljnija struktura polja dobivenih regionalnim modelom najviše se uočava u onim prizemnim parametrima koji su pod utjecajem bolje razlučene orografije u regionalnom modelu.

Za oba tipa modela karakteristični su izvori neizvjesnosti povezani s početnim uvjetima i parametrizacijama procesa koji nisu razlučeni u modelu. Zato je važno ocijeniti sposobnost modela da simulira klimu u slučaju kada su za rubne uvjete korišteni podaci reanalize (tzv. savršeni rubni uvjeti), a same simulacije izvedene s različitim parametrizacijskim shemama. Na ovaj način može se odrediti najbolja konfiguracija modela što predstavlja osnovu za korištenje modela u analizi klimatskih promjena koje u sebi sadrže dodatne izvore neizvjesnosti povezane sa scenarijima emisije stakleničkih plinova.

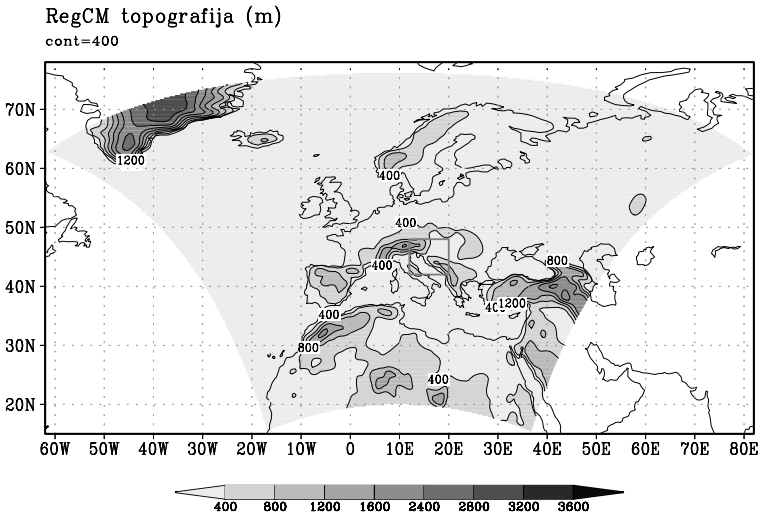
Zbog međudjelovanja tla i atmosfere, za klimatske simulacije važan je izbor sheme za parametrizaciju procesa u tlu. Utjecaj tih procesa najviše se uočava u vrijednostima prizemnih parametara kao što su primjerice temperatura, oborina, evapotranspiracija. U ovom radu korištena je četvrta verzija regionalnog modela RegCM (Elguindi i drugi, 2010) s dvije sheme za parametrizaciju procesa u tlu: BATS (engl. *Biosphere-atmosphere transfer scheme*, Dickinson i drugi, 1993) i CLM (engl. *the Community Land Model*, Oleson i drugi, 2008). Sheme za parametrizaciju procesa u tlu opisuju utjecaj vegetacije te vlažnosti i temperature tla na izmjenu energije i vodene pare između tla i atmosfere. BATS i CLM imaju nekoliko zajedničkih komponenata, ali i značajnih razlika. Primjerice u BATS shemi definiran je sloj vegetacije, sloj snijega i tri sloja u tlu koji se međusobno razlikuju u dubini. CLM shema ima pet slojeva snijega i deset slojeva u tlu. Također postoje razlike među shemama u albedu vegetacije, površinskim tokovima topline, temperaturi i vlažnosti tla te otjecanju, koje su detaljnije opisane u Steiner i drugi (2005). Združivanje CLM sheme s RegCM-om opisano je u Steiner i drugi (2009).

Rezultati simulacija međusobno su uspoređeni za temperaturu na 2 m (T2m), oborinu, evapotranspiraciju, površinsko otjecanje i snijeg. Uspješnost modela ocijenjena je usporedbom s mjerenjima za T2m i oborinu.

2. EKSPERIMENTI I PODACI

Simulacije regionalnim modelom napravljene su u razdoblju od siječnja 1989. do veljače 1994. godine. Početni i rubni uvjeti za RegCM uzeti su iz ERA-Interim reanalize (Berrisford i drugi, 2009). Domena RegCM-a obuhvaća područje Europe te dio Atlantika

i sjeverne Afrike (Slika 1) s rezolucijom od 50 km. Usporedba prizemnih parametara napravljena je za područje označeno pravokutnikom na Slici 1 (12°-20°E, 42°-48°N) koje obuhvaća Hrvatsku i susjedne države. Za ocjenu uspješnosti simulacija T2m i oborine korišteni su mjesečni srednjaci CRU podataka (Mitchell i Jones, 2005).



Slika 1. Topografija u regionalnom modelu. Pravokutnik označava područje na kojem je napravljena analiza prizemnih parametara (12°-20°E, 42°-48°N).
Izolinije: svakih 400 m.

3. REZULTATI

3.1. Usporedba modelirane T2m i oborine s mjerenjima

Uspješnost modela u simulaciji T2m i oborine ocijenjena je odstupanjem sezonskih srednjaka ovih parametara u RegCM simulacijama od CRU podataka. Prostorni srednjaci odstupanja modelirane T2m i oborine od izmjerenih vrijednosti na području označenom pravokutnikom na Slici 1 prikazani su u Tablici 1 po sezonama: zima (prosinac-veljača), proljeće (ožujak-svibanj), ljeto (lipanj-kolovoz) i jesen (rujan-studeni).

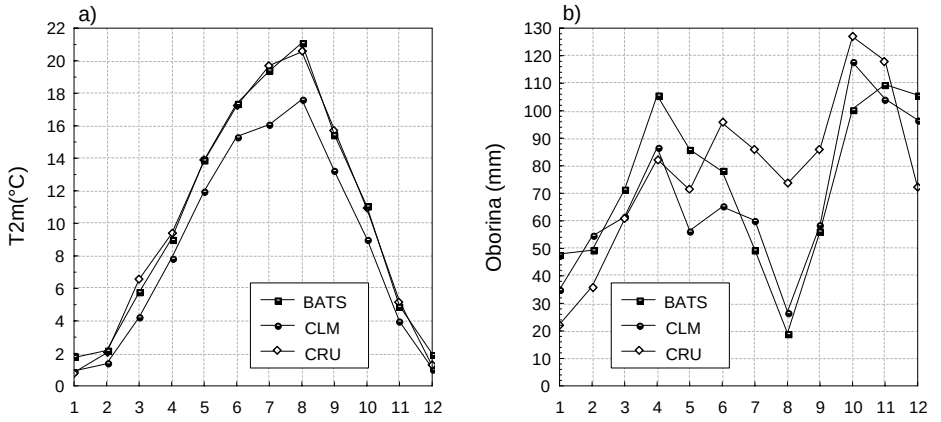
U RegCM simulacijama s BATS shemom, model je hladniji od mjerenja u proljeće i jesen, a topliji zimi i ljeti. Amplituda odstupanja najmanja je ljeti. U simulacijama s CLM shemom u svim sezonama prevladava hladno odstupanje koje je najizraženije ljeti kada su na cijelom analiziranom području modelirane T2m niže od CRU podataka. Zimi je u CLM-u amplituda hladnog odstupanja manja nego u ostalim sezonama zbog nešto viših temperatura duž Jadranske obale u odnosu na izmjerene vrijednosti (nije prikazano).

Pogreške u simulaciji oborine najveće su ljeti kada je u obje konfiguracije modela oborina podcijenjena u odnosu na mjerenja u cijelom analiziranom području. Negativno odstupanje nastavlja se i u jesen, ali sa smanjenom amplitudom. Zimi model daje više oborine u obje simulacije. Pogreška je vrlo mala u simulaciji s CLM shemom u kojoj pozitivnom odstupanju doprinosi pojas uz Jadransku obalu dok su na ostalom području odstupanja manja od 0.5 mm/dan (nije prikazano).

	zima	proljeće	ljeto	jesen
		T2m (°C)		
BATS	0.2	-0.4	0.1	-0.2
CLM	-0.6	-1.9	-2.8	-1.9
		oborina (mm/dan)		
BATS	0.8	0.5	-1.2	-0.7
CLM	0.6	-0.1	-1.1	-0.6

Tablica 1. Sezonska odstupanja temperature na 2 m (T2m, °C) i oborine (mm/dan) u RegCM simulacijama s BATS i CLM shemama za parametrizaciju procesa u tlu u odnosu na CRU podatke u području 12°-20°E, 42°-48°N.

Za odabrano područje sa Slike 1 izračunati su iz promatranog razdoblja mjesečni srednjaci T2m i oborine u RegCM simulacijama i CRU podacima. Maksimum T2m u CRU podacima nastupa u kolovozu, a minimum u siječnju (Slika 2a). Modelirani mjesečni srednjaci prate godišnji hod CRU podataka pri čemu su u RegCM-u s BATS shemom odstupanja od CRU podataka manja nego u simulacijama s CLM-om, a u nekim mjesecima gotovo i nema razlike između BATS i CRU podataka. Tijekom cijele godine CLM daje niže T2m, osobito u toplom dijelu godine, od travnja do rujna. Godišnji hod mjesečnih količina oborine (Slika 2b) je relativno uspješno simuliran s obje sheme parametrizacije, ali kroz veći dio godine pokazuje u prosjeku više oborine u simulacijama s BATS shemom u odnosu na simulacije s CLM-om. Mjesečne količine oborine s BATS shemom u odnosu na CLM manje su u veljači te od srpnja do listopada. U odnosu na CRU podatke odstupanja su nešto manje amplitude u simulacijama s CLM-om.



Slika 2. Godišnji hod T2m (a) i oborine (b) u simulacijama RegCM-a s BATS i CLM shemama i u CRU podacima u području 12°-20°E, 42°-48°N.

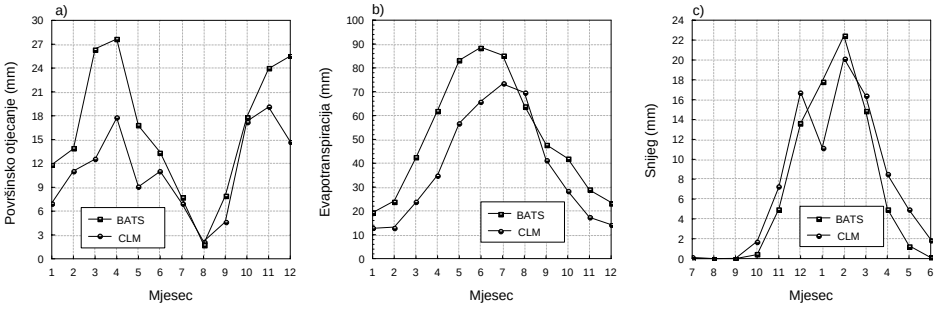
3.2. Analiza godišnjeg hoda parametara hidrološkog ciklusa

Osim oborine analizirane su i druge varijable povezane s hidrološkim ciklusom kao što su evapotranspiracija, površinsko otjecanje i snijeg. Budući da za njih ne raspolažemo mjerenjima, usporedba je napravljena samo za modelirane vrijednosti.

Mjeseci u kojima su količine oborine dobivene regionalnim modelom s BATS shemom veće utječu na veće vrijednosti površinskog otjecanja (Slika 3a). Razlike u površinskom otjecanju smanjene su od srpnja do listopada, kada RegCM s CLM-om daje veće količine oborine. Otjecanje u BATS shemi za vrijeme proljetnog oborinskog maksimuma veće je nego u jesen jer je tlo zasićenije vodom zbog topljenja snježnog pokrivača; za CLM je obratno, u proljeće je otjecanje manje nego u jesen.

Godišnji hod evapotranspiracije sličan je hodu T2m. Evapotranspiracija je veća u BATS nego u CLM simulacijama (Slika 3b) što je povezano s višim T2m u BATS shemi. Međutim, razlike su najmanje u kolovozu i rujnu kada su modelirane količine oborine vrlo slične, a što utječe na vlažnost tla koja je, osim temperature zraka, jedan od najvažnijih čimbenika koji djeluju na evapotranspiraciju.

Modelirane visine snijega u hladnom dijelu godine podjednake su u obje konfiguracije modela (Slika 3c). Zbog toga što promatrano područje obuhvaća i dio Alpa, snijeg se zadržava sve do lipnja. Iako su u hladnom dijelu godine količine oborine u RegCM-u s BATS shemom veće, zbog toplijih temperatura u odnosu na CLM to se ne odražava na visinu snijega, pa su visine snijega u ove dvije simulacije vrlo bliske. Najveće razlike među simulacijama su u siječnju kada su visine snijega u RegCM-u s BATS shemom veće, što je posljedica veće količine oborine u simulacijama s ovom shemom i malih razlika u T2m između dvije sheme.



Slika 3. Godišnji hod površinskog otjecanja (a), evapotranspiracije (b) i snijega (c) u simulacijama RegCM-a s BATS i CLM shemama u području 12°-20°E, 42°-48°N.

ZAKLJUČAK

Preliminarna analiza simulacija prizemnih parametara regionalnim klimatskim modelom (RegCM) s dvije sheme parametrizacije procesa u tlu (BATS i CLM) ukazuje na bolje slaganje temperature na 2m (T2m) s mjerenjima u konfiguraciji RegCM-a s BATS shemom. RegCM s CLM shemom tijekom cijele godine daje hladnije T2m od mjerenja. Modelirana oborina u obje konfiguracije manja je od izmjerenih vrijednosti od lipnja do studenog, dok su u ostalim mjesecima količine oborine u modelu precijenjene.

RegCM s BATS shemom daje veće vrijednosti evapotranspiracije što je povezano s višim vrijednostima T2m u ovim simulacijama. Međutim, potrebna je dodatna analiza vlažnosti tla i vjetra za detaljnije zaključke o ovom parametru. Veće količine oborine dobivene s BATS shemom utječu na veće površinsko otjecanje u odnosu na ono dobiveno s CLM-om, dok su modelirane visine snijega podjednake u obje konfiguracije.

LITERATURA

[1] Berrisford P., Dee D., Fielding K., Fuentes M., KÍllberg P., Kobayashi S., i Uppala S. (2009): *The ERA-Interim archive*. ERA Report Series No. 1, ECMWF, Shinfield Park, Reading, United Kingdom, 16 str.

[2] Dickinson R. E., Henderson-Sellers A. i Kennedy P. J. (1993): *Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model* NCAR Tech. Note. NCAR/TN-387+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 72 str.

[3] Elguindi N., Bi X., Giorgi F., Nagarajan B., Pal J, Solmon F, Rauscher S. i Zakey A. (2010): *RegCM Version 4.0 User's Guide*. ICTP, Trieste, Italy. (neobjavljeni rad). Web adresa: https://gforge.escience-lab.org/gf/download/docmanfileversion/6/253/UserGuide.pdf

[4] Mitchell T.D. i Jones P.D. (2005) *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*, Int J Climatol. 25, 693-712.

[5] Oleson K. W. i 11 suradnika (2008): *Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle*, Journal of Geophysical Research-Biogeosciences, 113(G1), doi:10.1029/2007JG000563.

[6] Steiner A.L., Pal J.S., Giorgi F., Dickinson R.E. i Chameides W.L. (2005): *Coupling of the Common Land Model (CLM0) to a regional climate model (RegCM)*. Theor Appl Climatol 82, 225–243.

[7] Steiner A. L., Pal J. S., Rauscher S. A., Bell J. L., Diffenbaugh N. S., Boone A., Sloan L. C., i Giorgi F. (2009): *Land surface coupling in regional climate simulations of the West African monsoon*, Climate Dynamics, 33, 869–892.

AUTORI

mr. sc. Mirta Patarčić [a]
Ivan Güttler, dipl. ing. [b]
dr. sc. Čedo Branković [c]

Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska,

[a] E-mail: patarcic@cirus.dhz.hr

[b] E-mail: guettler@cirus.dhz.hr

[c] E-mail: brankovic@cirus.dhz.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.07.

DEFINITION OF CONDITIONAL PROBABILITY OF CATASTROPHIC FLOODS AND DROUGHTS

Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Borisava Blagojević

SUMMARY: The paper outlines the methodology for defining conditional probability of occurrence of extreme hydrological events (floods and droughts). Specifically, from the water management point of view, it is very important to know the probability of the extreme hydrological events, such as floods and droughts, happening in the same place. The basis of this method is to define coincidences of extreme floods and droughts in the same calendar year, based on the available series of maximum and minimum annual discharges, as well as to identify extremes (outliers - high and low) within the same correlation field. Based on these extremes and two dimensional coincidence distribution, we can determine exceedance probabilities for considered high and low extremes. Pilot and Harvey test was used for identification of these outliers.

The newly developed method was used to identify extreme hydrological events over the territory of Serbia. Practical procedure for application of new method for defining conditional probability for the absolute minimum and maximum discharge in the same calendar year is given for the river Raška, gauge station Raška.

KEY WORDS: outlier, catastrophic flood and drought, conditional probabilities, coincidence

DEFINICIJA UVJETNE VJEROJATNOSTI KATASTROFALNIH POPLAVA I SUŠA

SAŽETAK: U radu se daje kratak prikaz metodologije za definiranje uvjetne vjerojatnosti ekstremnih hidroloških događaja (poplava i suša). S vodnogospodarskog aspekta, posebno je važno znati vjerojatnost ekstremnih hidroloških događaja poput poplave i suše koje se dešavaju na istom mjestu. Srž ove metode jest definirati podudarnosti ekstremnih poplava i suša u istoj kalendarskoj godini na osnovu raspoloživog niza maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka i definirati ekstreme (najveća i najmanja odstupanja) unutar istog korelacijskog polja. Na osnovu tih ekstrema i dvodimenzionalne distribucije podudarnosti moguće je utvrditi vjerojatnosti prekoračenja za razmatrane gornje i donje ekstreme. Pilot-Harvey test koristi se za utvrđivanje najvećih odstupanja.

Ova nova metoda korištena je za utvrđivanje ekstremnih hidroloških događaja na području Srbije. Postupak praktične primjene nove metode za definiranje uvjetne vjerojatnosti apsolutnog minimalnog i maksimalnog protoka u istoj kalendarskoj godini naveden je za rijeku Rašku na mjernoj stanici Raška.

KLJUČNE RIJEČI: odstupanje, katastrofalne poplave i suše, uvjetne vjerojatnosti, podudarnost

1. INTRODUCTION

Floods and droughts are persistent phenomena involved in civilization throughout history. They are affected by natural habitats, ecosystems and many economic and social sectors. One of the main tasks for hydrologists is to devote extra attention to catastrophic events, such as floods and droughts. It is particularly interesting to analyze the causes of massive occurrence of these events, especially if both events occur in a relatively short time periods, especially during the same calendar year.

Main concern of this paper is devoted to defining the computational procedures for defining the conditional probability of occurrence of floods and droughts. Specifically, from the standpoint of water management, it is very important to define occurrence possibility of floods and droughts in the same year. Elaborated procedure for evaluation of these conditional probabilities based on the definition of coincidence of simultaneous (discretization period is one calendar year) extreme floods and droughts. In this paper, series of absolutely maximum and minimum annual flows as representatives of floods and droughts have been adopted. Using the results of coincidence of adopted constellation of variables is defined by the graph-analytical procedure to determine the conditional probability.

The subject of this paper is to develop new methods or procedures for calculating conditional probabilities of catastrophic hydrological events - floods and droughts in the same year. The developed procedure consists of the identification of historical events of the outlier (floods and droughts) and the definition of their conditional probabilities. In addition, the method allows determining the conditional probability of each registered empirical constellation points, which represent simultaneous (in the same calendar year) flood and drought.

2. INPUT DATA

We analyzed the dataset (Qannual,min; Qmin30day, Qannual,max) on the hydrological stations of the Hydro meteorological Service of Serbia. Processing period is equal to the period of observation. Series with less than 25 data have been removed from the analysis because they are considered to be unrepresentative. Also, the gauge stations with zero-flow in annual minima data sets were not taken into consideration. Network consisting of 143 hydrological stations and 11 main river basins are shown in figure 1

Figure 1. Network of analyzed hydrological stations and catchment areas of important rivers in Serbia

3. METHODOLOGY

3.1. Testing exceptions –Pilot and Harvey test

In hydrological practice, historical events are those that significantly exceed the value of adjacent constant in the considered time series. Pilot and Harvey test is used to estimate the real historical events (outlier) in extreme hydrological conditions (drought and floods). It is assumed that the quantitative characteristics of these events follow the Log-Pearson III (LPT3) distribution function. Under this assumption, the upper and lower limits of "outlier" are calculated using formulas (1), (2) (McCuen R.H 2003):

– Upper limit

$$Y_H = Y_{av} + K_N S_y \quad (1)$$

– Lower limit

$$Y_L = Y_{av} - K_N S_y \quad (2)$$

(If $-0.4 > C_{sy} > 0.4$)

Where:

Y_H – logarithm of the value of the outlier upper limit;

Y_L – logarithm of the value of the outlier lower limit;

Y_{av} – average value of the time series Y;

$Y = \log X$

X - observed time series;

S_y – standard deviation of the time series Y;

C_{sy} –skewness coefficient of the time series Y;

K_N – frequency factor (critical value) for the risk coefficient ά=10%

N – sample size of Y series for which statistical parameters will be calculated.

$$K_N = -3.6220 + 6.2844\,N^{0.25} - 2.49835\,N^{0.5} + 0.491436\,N^{0.75} - 0.037911\,N \quad (3)$$

Identification of historical events is a procedure that means a comparison of empirical points with defined borders of "outlier". If an empirical point falls outside the limits (upper or lower), then it is considered as an historical event of probability 1-ά=0.90.

Computational procedures for defining statistical parameters and return periods in terms of whether a historical event occurred in the observation period or not are presented in the literature (Prohaska and Ilić 2010).

3.2. Conditional probability

The procedure for defining the conditional probability of occurrence of floods and droughts is based on the previous definition of coincidence of the same phenomena. The term "coincidence" means the probability of simultaneous occurrence of two random variables Y=Qmax, as the X = Qmin. Assuming that both random variables have Normal Distribution, density function of two-dimensional random variable (X,Y), as it is shown in the literature (Prohaska S. at all 1999), is:

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-R^2}}\, e^{-\frac{1}{2(1-R^2)}\left[\frac{(x-\overline{X})^2}{\sigma_x} - \frac{2R(x-\overline{X})(y-\overline{Y})}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-\overline{Y})^2}{\sigma_y}\right]} \quad (4)$$

Where:

y - Current value of random variables X and Y,

$\overline{X}$ i $\overline{Y}$ - average values of variables X and Y,

σ_x and σ_y - standard deviations of variables X and Y,

R - Correlation coefficient between variables X and Y.

As discussed variables, absolute maximum and minimum annual discharges are not subject to normal distribution, it is necessary to find logarithm partially standardized them as follows.

$$u = log\ X \qquad w = log\ Y$$
$$\Psi = u - \overline{u} \qquad \xi = w - \overline{w}$$

This way the density function of the transformed variables can be written in the form:

$$f(\psi,\xi) = \frac{1}{2\pi(1-\rho^2)} exp\left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\psi^2 - 2\rho\psi\xi + \xi^2 \right] \right\} \tag{5}$$

Values of variance σ_ξ i σ_ψ and the correlation coefficient ρ are calculated from observed series. Solving the quadratic equation for any size of ψ, we get the corresponding pair of values $\xi_{1,2}$.

In other words, for each standardized variables $\psi = \overline{log\ X}$ - there are two standardized values $\xi_{1,2} = \overline{logY}$- . Once the selected value for each ψ in the coordinate system is ploted for the ξ_1, ξ_2 ellipses that represent the desired probability of f (λ) can be constructed, where:

$$\lambda^2 = \psi^2 - 2\,\rho\psi\xi + \xi^2 \tag{6}$$

These ellipses are called the correlation ellipses and actually represent a cross section of horizontal plane and the surface that defines a two-dimensional normal distribution. Then, using the inverse procedure of anti-logarithm, the value of non-standardized natural variables Y = Qannual,max as the X = Qannual,min can be calculated. The main purpose of this paper is to define the exceededance probability of the identified historical events (both outliers: Qmax, Qmin), ie:

$$P(Qannual,max \geq Qmax,outlier;\ Qannual,min \leq Qmin,outlier)$$

The solution of the task is reduced to the definition of the correlation ellipses in the coordinate system Y = Qannual,max and as X = Qannual,min where both empirical points corresponding to an occurrence of historical events: Qmax, Qmin are specifically denoted. From an empirical point of historical maximum Qmax, outlier the horizontal axis is drawn and from the empirical point of historical minimum, Qmin,outlier a vertical axis which crosses above mentioned line. Intersection point of the lines gives a point of historical events that has coordinate ID (Qmin,outlier, Qmax,outlier). By connecting the point ID with gravity point of correlation field with TG coordinates $\overline{Q_{annual,min}}; \overline{Q_{annual,max}})$ a straight line, which cuts through the surface of the defined density function can be obtained. Intersection of the ID-TG line and the surface of density function an extra density function of the conditional distribution defined along the line is obtained.

An assumption which is introduced is that the required historical event exceedance probability represents the exceedance probability of ID density function of conditional probabilities along the defined auxiliary line, in accordance with literature (Prohaska 2006), i.e:

$$P(Q_{max,annual} \geq Q_{max,outlier}; Q_{min,annual} \leq Q_{min,outlier}) = P(Q_{max,annual} | Q_{min,annual} \geq ID(Q_{min,outlie}; Q_{max,outlier}))$$

Obtained ellipses correlation field quantiles are used on the y axis for defining the conditional probabilities density function. The quantiles are defined for intended probability (λ) as upper () and lower () limits, as well as for gravity center TG(. Marks for these quantiles are:

$$Q_{max,annual}(\vec{\lambda}) \;;\; Q_{max,annual}(\underset{\rightarrow}{\lambda}) \quad \text{and} \quad Q_{max,annual}(TG)$$

Statistical parameters of the conditional probability density function along the auxiliary line are defined by well-known graph-analitical procedures. In this case the skewness coefficient is first determined using the formula:

$$SK = \frac{Q_{max,annual}(\overrightarrow{\lambda}) + Q_{max,annual}(\underset{\rightarrow}{\lambda}) - 2Q_{max,annual}(CP)}{Q_{max,annual}(\vec{\lambda}) - Q_{max,annual}(\underset{\rightarrow}{\lambda})} \tag{7}$$

In accordance with the literature (Prohaska 2003), there is a direct relationship between the coefficient of SK and the coefficient of asimmetry. For appropriate values of probabilities λ frequency factors are obtained from Pearson III table.

$$K(\vec{\lambda});\ K(\underset{\rightarrow}{\lambda}) \text{ and } K(\lambda_{TG} = 0.5)$$

For calculation of other parameters the following formula is used:

Standard deviation

$$\sigma = \frac{Q_{max,annual}(\vec{\lambda}) - Q_{max,annual}(\underset{\rightarrow}{\lambda})}{K(\vec{\lambda}) - K(\underset{\rightarrow}{\lambda})} \tag{8}$$

– Mean Value

$$\overline{Q}_{max,annual} = Q_{max,annual}(TG) - \sigma K(\lambda_{TG} = 0.5) \tag{9}$$

Variation Coefficient

$$C_v = \frac{\sigma}{\overline{Q}_{max,annual}} \tag{10}$$

In order todetermine the exceedance probability of the historical event ID it is necessary, based on the known values of statistical parameters, to previously calculate frequency factor of historical event, uinder the Pearson III distribution law:

$$K(p) = \frac{Q_{max,annual}(ID) - \overline{Q}_{max,annual}}{\sigma} \tag{11}$$

Table for Pearson III distribution, gives known value of the coefficient of asymmetry and there is a corresponding value of the distribution function F (x = ID), and the exceedance probabilityof the historical event according to the formula:

$$P(X>x=ID) = P(Q_{max,annual}/Q_{min,annual} \geq ID(Q_{min,outlier}\ ;\ Q_{max,outlier}) = \\ = P(Q_{max,annual} \geq Q_{max,outlier};\ Q_{min,annual} \leq Q_{min,outlier})$$

4. RESULTS

Series of data were tested on 143 hydrological stations using the procedure that was previously described. There are 14 stations with the upper limit in the series of absolute maximum and 35 stations with low outliers in series of absolute minimum and thirty-day minimum (Prohaska S. at all, 2009).

Sub-basins hydrological stations with identified "outliers" are shown in the shaded area in the picture below and represent areas of the Republic of Serbia prone to floods and droughts (Figure 2).

Figure 2. Areas prone to floods and droughts in Serbia

To illustrate the application of an elaborate evaluation process of conditional probability of simultaneous occurrence of historical floods and droughts in a calendar year profile Raška on the river Raška was chosen. As a representative of the floods maxima annual flow data were taken into consideration and for hydrological drought minima annual flow data were used. The results of calculations of coincidence and the conditional probabilities of these series are shown in Fig 3. Figure also shows empirical points of identified historical occurrences of drought and floods, mean value of their series, as well as the border point of historical event ID for which an exceedance probability has to be detrmined.

In accordance with the given procedure, characteristic values of the considered series of indicators of floods and droughts on the river Raška are:

$Q_{max,outlier} = 400\ m^3/s;\ Q_{min,outlier} = 0.75\ m^3/s;\ \overline{Q}_{max,annual} = 69{,}70 m^3/s\ ;\ \overline{Q}_{min,annual} = 2.34 m^3/s$

$\lambda = 0.1$

$Q_{max,annual}(\vec{\lambda}) = 250\ m^3/s;\ Q_{min,annual}(\vec{\lambda}) = 19.3\ m^3/s$

Exceedance probability for simultanous occurence of historical floods and droughts on the the River Raška is:

$$P(X>x=ID) = P(Q_{max,annual}/Q_{min,annual} \geq ID(0.75\ ;\ 400) = P(Q_{max,annual} \geq 400\ m^3/s;\ Q_{min,annual} \leq 0.75\ m^3/s) < 0.0001.$$

Return period is:

$$T(X>x=ID) = T(Q_{max,annual}/Q_{min,annual} \geq ID(0.75\ ;\ 400) = T(Q_{max,annual} \geq 400\ m^3/s;\ Q_{min,annual} \leq 0.75\ m^3/s) > 10.000\ years$$

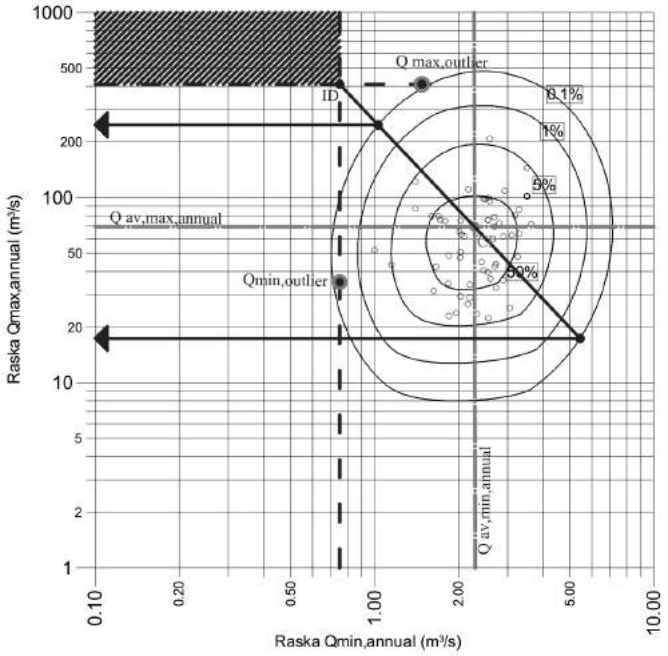
CONCLUSION

The main purpose of this paper is the elaboration of new methods for calculating the occurrence probability of the historical floods and hydrological droughts in the same year. To identify historical events (outliers) of extreme hydrological conditions (floods and droughts) a well-known Pilot and Harvey test was used. However, for assessing the probability of simultaneous (in the same year) occurrence of identified historical events a new procedure is developed. Identification of occurrence of historic floods and droughts was performed on 144 profiles of gauging stations in Serbia. As a representative of the flood the absolute maxima annual flow data were used and absolute minima annual flow or thirty days minima for hydrologic droughts.

Practical application of the Pilot and Harvey test found that so far in Serbia historic floods have occurred in 14 profiles of gauging stations with return period of 77 to 1000 years. From the aspect of the minimum annual discharge, a total of 26 historical droughts, with return periods of 80 to 1500 years, was registered and from the aspect of minimum 30 day discharges, total of 20 historic droughts, with similar values of return period.

In the considered period of observed data, historic floods and hydrological droughts occurred on only two gauging stations. Practical example of simultaneous (same year) occurrence of drought of historical flood is given for the profile Raška. In this case, the return period for registered historical floods is 539 years and for droughts 238 years.

However the probability that these two historical events (historical floods of 1979 and the historic drought of 1951) occurring in the same calendar year is less than 0.0001, which corresponds to a return period of more than 10 000 years.



REFERENCES

[1] Prohaska S., Ilić A., Miloradović B., Petković T. (2009) Detection and classification of Serbia's historic floods, International Conference "LAND CONSERVATION" - LANDCON 0905: GLOBAL CHANGE – CHALLENGES FOR SOIL MANAGEMENT From Degradation through Soil and Water Conservation to Sustainable Soil Management, 26-30 May 2009, Tara Mountain, Serbia, Book of Conference Abstracts p.121

[2] McCuen R. H. (2003) Modeling hydrologic change: statistical methods, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.

[3] Prohaska S. (2003) Hydrology part I, Faculty of Geology and Mining, Water resources development institute "Jaroslav Cerni", Republic Hydro-Meteorological Service of Serbia,Belgrade

[4] Prohaska S. (2006) Hydrology part II, Faculty of Geology and Mining, Water resources development institute "Jaroslav Cerni", Republic Hydro-Meteorological Service of Serbia, Belgrade

[5] Prohaska S. et al. (1999) Coincidence of Flood Flow of the Danube River and its Tributaries, The Danube and its Basin, Hydrological monograph, Follow-up Vol. IV, Bratislava.

[6] Prohaska S., Ilić A. (2010) New Methodology for definition of conditional probability of occurence of catastrophic floods and droughts in the same year, "Water management", No 246-248, ISSN 0350-0519, v. 42, no. 4-6/2010, Belgrade, p. 149-156.

AUTORI

dr. Stevan Prohaska [a]

Aleksandra Ilić [b]

mr. Borisava Blagojević [c]

[a] Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog St. No. 80, Pinosava, 11226 Beograd, Srbija, stevan.prohaska@jcerni.co.rs

[b] Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog St. No. 80, Pinosava, 11226 Beograd, Srbija, aleksandra.ilic@jcerni.co.rs

[c] Građevinski fakultet, Aleksandra Medvedeva St. No. 14, 18000 Niš, Srbija, b.blagojevic@eunet.rs

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.08.

ANALIZA SUŠE POMOĆU STANDARDIZIRANOG OBORINSKOG INDEKSA

Ksenija Cindrić, Josip Juras, Marjana Gajić-Čapka, Domagoj Mihajlović

SAŽETAK: Ispitana je povezanost količine oborine s nekim hidrološkim i poljoprivrednim veličinama pomoću standardiziranog oborinskog indeksa (eng. SPI – standardized precipitation index) na različitim vremenskim skalama u istočnoj Slavoniji. Prikazana je pojava suše u zadnjih 50 godina prema podacima s osam meteoroloških postaja. Promjene klimatskih prilika tijekom 20. stoljeća su ispitane na postaji Osijek i ukazuju na trend smanjenja količine oborine u drugoj polovici prošlog stoljeća. Međutim, smanjila se i vjerojatnost za pojavu suše u novijem razdoblju. Analiza protoka na postaji Donji Miholjac pokazala je da postoji izraženija linearna povezanost protoka vode s vrijednostima SPI na vremenskoj skali od tri do devet mjeseci i to u proljetnim i ljetnim mjesecima. Vrijednosti SPI na skali duljoj od 12 mjeseci prema dobivenim rezultatima nemaju značaj u određivanju hidrološke suše. Nadalje, u radu je pokazano da su određeni pokazatelji poljoprivredne proizvodnje usko povezani s meteorološkim veličinama kao što je oborina što upućuje na mogućnost razvoja složenijih modela za procjenu priroda poljoprivrednih kultura.

KLJUČNE RIJEČI: suša, SPI, Slavonija, oborina, protoci, poljoprivredna proizvodnja

DROUGHT ANALYSIS BY STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX

SUMMARY: The correlation between precipitation amounts with some hydrological and agricultural variables across eastern Slavonia region has been examined using the Standardized Precipitation Index (SPI) at different time scales. Drought phenomena in the last 50 years has been analysed according to precipitation data from eight meteorological stations. Changes in climate conditions during the 20th century have been analysed at station Osijek. The results show the prevailing negative trend in precipitation during the second half of the last century. However, the probability of occurrence of droughts decreased in recent times. Further, comparison between river discharges at hydrological station Donji Miholjac and SPI values showed higher correlation between river flows and SPI values at three to nine month time scale mainly during spring and summer. There is no evidence of usability of SPI at more than 12 months scale for hydrological drought estimation. Furthermore, this study shows that some indicators of agricultural production are strongly correlated with meteorological variables such as precipitation, indicating the possibility

of developing more complex models for estimation of crops production in Croatia.

KEYWORDS: drought, SPI, Slavonia, rainfall, discharge, agricultural production

1. UVOD

Meteorološka suša je pojava vezana uz razdoblje u kojemu postoji deficit oborine u odnosu na prosječne oborinske prilike, a kao posljedicu može imati pojavu hidrološke i/ili agronomske suše. To je osobito kompleksan proces koji uključuje različite faktore za određivanje rizika i osjetljivosti na sušu. Npr. u usporedbi s drugim hidrološkim prirodnim nepogodama kao što su poplave, suša se relativno sporo razvija i teško je odrediti njezin početak i kraj.

U ovom radu je za definiranje meteorološke suše korišten standardizirani oborinski indeks (eng. SPI - Standardized Precipitation Index). Njegova osnovna karakteristika je da se može izračunati za različite vremenske skale (od jednog do više uzastopnih mjeseci). Time je omogućeno indirektno praćenje procjena kratkoročne i dugoročne zalihe vode što ga čini dobrim indikatorom i za agronomsku i za hidrološku sušu.

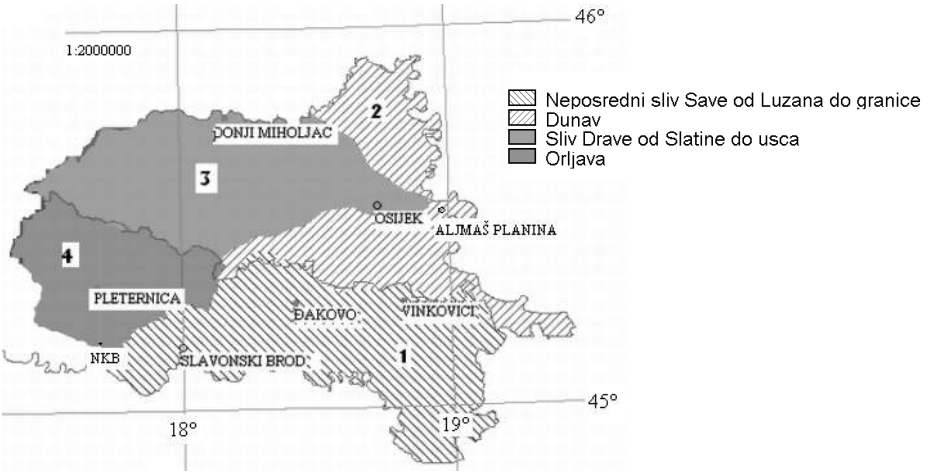
Budući da je u novije vrijeme suša imala značajan utjecaj na gospodarstvo zemalja jugoistočne Europe u tijeku je projekt uspostave Centra za kontrolu suše u jugoistočnoj Europi (DMCSEE - Drought Management Center for South Eastern Europe). Glavni cilj Centra je unapređenje pripravnosti na sušu pripremom procjene rizika i uspostave sustava ranog upozorenja odnosno smanjenje njezina utjecaja na području jugoistočne Europe (http://www.dmcsee.eu). DMCSEE koristi SPI za regionalnu praćenje suše, no SPI koriste i stručnjaci sa drugih instituta za analizu sušnih uvjeta, kao što je National Drought Mitigation Center u SAD-u (http://drought.unl.edu/index.htm).

2. PODACI I METODE

Za procjenu SPI potrebno je raspolagati dugim nizovima mjesečnih količina oborine na pojedinoj lokaciji (minimalno 30 godina). U ovom radu je analizirana količina oborine na osam meteoroloških postaja na četiri sliva u istočnoj Slavoniji (Slika 1): 1. Neposredni sliv Save od Lužana do državne granice, 2. Sliv Dunava, 3. Sliv Drave od Slatine do ušća i 4. Sliv Orljave. To područje uključuje dvije panonske poljoprivredne podregije u Hrvatskoj (Bašić i dr., 2002). U tablici 1 se nalazi popis postaja na spomenutim slivovima s najduljim rapoloživim nizom podataka mjesečne količine oborine. Nedostajući podaci u pojedinim mjesecima su interpolirani prema najbližim susjednim postajama za potrebe Klimatskog atlasa Hrvatske (Zaninović i drugi, 2008). Usporedba SPI i protoka je provedena na postaji Donji Miholjac prema podacima protoka iz razdoblja 1961-2008. Podaci o prirodima kukuruza i biljnoj proizvodnji su korišteni iz raspoloživog razdoblja 1985-2009. (DZS, 2010). Uspoređeni su s podacima o količinama oborine iz baze podataka "Global Precipitation Climatology Centre" (GPCC) za područje kvadranta 1°×1° koji je centriran iznad područja istočne Slavonije (45.5°N, 18.5°E).

Na pojavljivanje suše i njezin razvoj, pored oborine, utječu i drugi parametri kao što su temperatura, evapotranspiracija, relativna vlaga, vlažnost tla i drugi. Međutim, oborina je meteorološka varijabla koja najviše doprinosi trajanju i intezitetu suše (Vicente-Serrano i Lopez-Moreno, 2005). Proračun SPI se zasniva na prilagođavanju gamma funk-

cije gustoće vjerojatnosti razdiobi čestina oborine na različitim vremenskim skalama, primjenom metode maksimalne vjerojatnosti za određivanje parametara razdiobe α i β. Time je određena kumulativna funkcija vjerojatnosti razdiobe količina oborine, za pojedinu skalu, što omogućuje određivanje vjerojatnosti pojavljivanja oborine manje ili jednake određenoj vrijednosti (percentila). Ta razdioba kumulativnih vjerojatnosti se potom transformira u normalnu razdiobu sa srednjakom nula i standardnom devijacijom jedan. Dobivena vrijednost predstavlja vrijednost SPI. Zbog toga što razdioba SPI odgovara normalnoj razdiobi, očekujemo da vrijednosti SPI budu između +1 i –1 u približno 68% slučajeva, između +2 i –2 u 95% slučajeva, te između +3 i –3 u 99% slučajeva. U tablici 2 se nalazi klasifikacijska skala za ocjenu suše prema vrijednosti SPI koju je predložio McKee (1993).



Slika 1. Slivovi na području istočne Slavonije (Izvor: Hrvatske vode, 2002) i meteorološke postaje

Postaja	Sliv	Razdoblje
Donji Miholjac (1)	3	1956-2009.
Đakovo (2)	1	1961-2009.
Vinkovci (3)	1	1961-2009.
Nova Kapela Batrina (4)	4	1961-2009.
Aljmaš planina (5)	2	1955-2009.
Pleternica (6)	4	1956-2009.
Osijek (7)	3	1900-2009.
Slavonski Brod (8)	1	1961-2009.

Tablica 1. Popis meteoroloških postaja s pripadnim najduljim raspoloživim nizom podataka

Vrijednosti SPI	Klase
≥ 2	ekstremno kišno
1.5 do 1.99	vrlo kišno
1.0 do 1.49	umjereno kišno
-0.99 do 0.99	u granicama normale
-1.0 do –1.49	umjereno suho
-1.5 do –1.99	vrlo suho
≤ -2	ekstremno suho

Tablica 2. Klasifikacija suše prema vrijednostima SPI

Za potrebe ovoga rada izračunat je SPI na svih osam postaja navedenih u tablici 1 na vremenskim skalama od 1, 3, 6 i 12 mjeseci (SPI1, SPI3, SPI6 i SPI12). Parametri gamma razdiobe su određeni za svaku vremensku skalu i za svaku postaju posebno iz zajedničkog razdoblja 1961-2000. Radi analize prostorne homogenosti regije proračunati su koeficijenti korelacije između dobivenih SPI vrijednosti na svakoj pojedinoj postaji. Sušno razdoblje prema SPI započinje kada je SPI < -1 i traje sve dok SPI ima negativnu vrijednost. Na taj način su određena srednja trajanja sušnih razdoblja za pojedinu skalu. Analiziran je razvoj suše u drugoj polovici 20. stoljeća sve do danas.

Vrijednosti protoka na hidrološkoj postaji Donji Miholjac su sumirane za različite vremenske skale i potom standardizirane kako bi bile usporedive s vrijednostima SPI. Korelacija između oborine i standardiziranih protoka je provedena na dva načina. Najprije je provedena kontinuirana usporedba tako da su korelirani potpuni vremenski nizovi za pojedinu skalu (svi mjeseci čine jedan niz), a potom su korelirane vrijednosti SPI i protoka za svaki mjesec i za svaku pojedinu skalu. Za usporedbu je korišten Pearsonov koeficijent korelacije.

Detaljnija analiza trenda oborinskog režima prema vrijednostima SPI provedena je na postaji Osijek od početka 20. stoljeća. Procijenjeni su parametri gamma razdiobe za dva dugogodišnja razdoblja: 1901-1960. i 1961-2000. te su uspoređeni medijani i donji decili dobivenih razdioba. Naime, vrijednost donjeg decila razdiobe je ona količina oborine, u razmatranoj sezoni, koja je premašena u 90% slučajeva. Kada je ukupna količina oborine u najmanje tri mjeseca ispod donjeg decila govorimo o postojanju deficita oborine. Drugo 40-godišnje razdoblje je izabrano jer je to zajedničko raspoloživo razdoblje s potpunim nizovima podataka za većinu postaja u Hrvatskoj.

Veza između promjena u sezonskim količinama oborine i priroda kukuruza na području Slavonije je ispitana primjenom koeficijenta korelacije. Ta je kultura odabrana zbog relativno kratkog razdoblja vegetacije (od kraja lipnja do početka kolovoza). Stoga je poseban naglasak u analizi na ljetnim mjesecima (SPI3 za kolovoz), ali i na vegetacijsko razdoblje (SPI6 za rujan) koje je važno za biljnu proizvodnju.

3. REZULTATI

3.1. Sušne prilike u istočnoj Slavoniji

Koeficijent korelacije između SPI vrijednosti na pojedinim postajama je vrlo visok i statistički je značajan za sve vremenske skale. To ukazuje na značajnu regionalnu povezanost sušnih uvjeta na području istočne Slavonije. U tablici 3 su navedene vrijednosti koeficijenta korelacije za tromjesečnu skalu.

Prema minimalnim vrijednostima SPI (tablica 4) uočava se da su na većini postaja najmanje mjesečne količine oborine u odnosu na dugogodišnji prosjek bile 2007. godine i

SPI3	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.000	0.801	0.776	0.772	0.797	0.801	0.846	0.805
2		1.000	0.847	0.764	0.810	0.821	0.840	0.870
3			1.000	0.734	0.871	0.770	0.834	0.835
4				1.000	0.706	0.899	0.759	0.853
5					1.000	0.761	0.892	0.789
6						1.000	0.797	0.884
7							1.000	0.821
8								1.000

Tablica 3. Koeficijent korelacije između vrijednosti SPI3 na osam postaja numeriranih prema tablici 1.

	SPI1							
Postaja	1	2	3	4	5	6	7	8
God./Mj	2003 / 3	2007 / 4	2007 / 4	1995 / 7	2007 / 4	2007 / 4	2007 / 4	2007 / 4
SPI_{min}	-3.8	-3.4	-4.8	-4.3	-4.6	-4.4	-4.6	-4.1
R (mm)	4.3	7.1	2.2	1.2	2	6.7	2.9	7
R_{sred} (mj)	1.4	1.5	1.3	1.5	1.3	1.8	1.2	1.9
	SPI3							
Postaja	1	2	3	4	5	6	7	8
God./Mj	2003 / 4	2003 / 4	2003 / 4	2003 / 4	2003 / 4	2003 / 4	1925 / 1	2003 / 4
SPI	-4.8	-3.9	-3.6	-4.6	-2.6	-4.3	-4.3	-3.2
R (mm)	25.8	32.8	32.6	32	45.8	32	24.8	43.6
R_{sred} (mj)	3.5	3.7	4.1	3.2	4.0	3.5	3.9	3.3
	SPI6							
Postaja	1	2	3	4	5	6	7	8
God./Mj	2003 / 7	2003 / 7	1989 / 3	2003 / 8	2009 / 7	2003 / 7	1925 / 3	2000 / 9
SPI	-3.9	-3.7	-2.9	-3.4	-2.6	-3.3	-3.9	-2.4
R (mm)	129.1	145.3	110.3	202.3	175.2	177.8	98.6	250.9
R_{sred} (mj)	7.5	6.9	5.5	5.0	6.3	6.3	7.0	4.0
	SPI12							
Postaja	1	2	3	4	5	6	7	8
God./Mj	2003 / 9	2003 / 9	1989 / 3	1989 / 4	2000 / 12	2003 / 9	1921 / 9	1990 / 9
SPI	-2.9	-2.9	-2.8	-3.5	-2.9	-2.9	-4.3	-2.9
R (mm)	421.5	434.2	363.6	485	334.6	494.9	343.2	488.2
R_{sred} (mj)	14.5	13.0	18.4	9.6	16.9	10.1	11.8	13.5

Tablica 4. Najmanje vrijednosti SPI za četiri vremenske skale na osam postaja numeriranih prema tablici 1 s pripadnom količinom oborine R (u mm) i datumom pojavljivanja. Rsred je srednja duljina trajanja sušnog razdoblja (u mjesecima) iz razdoblja 1961-2000.

to uglavnom u proljeće. Ekstremno mala oborina na tromjesečnoj skali u zadnjih 50 godina na području istočne Slavonije je zabilježena u razdoblju od veljače do travnja 2003. godine. Međutim, rezultati 110-godišnjeg niza s postaje Osijek ukazuju da je najveći tromjesečni deficit bio u siječnju 1925. godine. Polugodišnje sume oborine su na većini postaja imale minimalnu vrijednost početkom 21. stoljeća i to 2000. (Slavonski Brod), 2003. (Donji Miholjac, Đakovo, Nova Kapela Batrina i Pleternica) i 2007. (Aljmaš Planina). Samo je na području Vinkovaca šestomjesečni deficit oborine bio najmanji u ožujku 1989. Prema dugogodišnjem nizu oborine na području Osijeka najsušnije je bilo u razdoblju od listopada 1924. do ožujka 1925.

Na mjesečnoj skali srednja vrijednost sušnog razdoblja prema vrijednostima SPI traje od 1.2 do 1.9 mjeseci, na tromjesečnoj skali od 3.2 do 4.1 mjeseci, a na šestomjesečnoj skali od 4 do 7.5 mjeseci (tablica 4). Na 12-mjesečnoj skali se na području Slavonije može očekivati srednje sušno razdoblje u trajanju od 9.6 do 18.4 mjeseca.

3.2. Trend

Prilagođavanjem gama razdibe mjesečnim sumama oborine na pojedinim skalama za dva različita razdoblja tijekom 20. stoljeća na postaji Osijek uspoređeni su medijan i prvi decil dobivenih razdioba. U tablici 5 su navedene razlike između prvog decila i medijana između dva razdoblja tijekom 20. stoljeća. U ljetnim mjesecima se medijan u drugom

Mj/Skala	1		3		6		12	
	decil 1	medijan	decil 1	medijan	decil 1	medijan	decil 1	medijan
1	-21.7	-5.4	22.6	-8.7	5.2	-4.0	2.6	-2.5
2	23.6	-11.3	-13.5	-2.6	3.1	-7.6	0.5	-2.2
3	33.0	-7.4	3.9	-2.1	3.2	-6.2	5.3	-5.5
4	22.4	-15.9	3.2	-15.2	7.7	-5.1	3.2	-1.9
5	-0.4	-23.7	-7.0	-17.0	-14.9	-8.4	0.0	-1.6
6	15.0	13.3	15.8	-9.1	6.5	-11.8	-2.0	-4.2
7	22.1	8.6	20.0	-2.3	8.6	-4.6	-0.5	-1.9
8	-34.8	7.8	22.3	17.0	15.6	-4.7	-2.4	-4.3
9	-28.4	-1.8	4.2	1.7	16.8	-4.4	1.1	-4.5
10	-63.4	-27.0	-4.6	-17.0	13.1	-13.1	-0.3	-6.2
11	-3.9	0.3	-6.3	-21.9	-1.0	1.5	-3.2	-6.6
12	21.2	-4.4	-17.4	-10.5	-8.3	-4.0	-2.0	-3.0

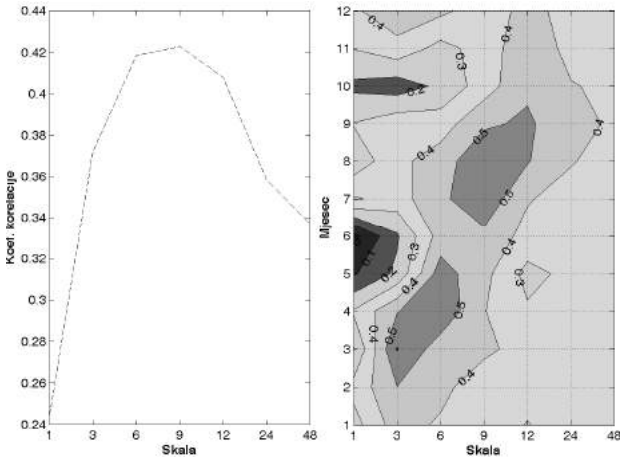
Tablica 5. Razlike između prvog decila/medijana između razdoblja 1961-2000. i 1901-1960. izražene u postocima u odnosu na razdoblje 1901-1960. na postaji Osijek

dijelu 20. stoljeća povećao za 8% do 13% u odnosu na prvih 60 godina, dok se u svim ostalim mjesecima smanjio, i to do 27% u listopadu. Međutim, prvi decil se povećao od veljače do travnja te u prosincu, dok se u svim ostalim mjesecima smanjio. Osobito je izraženo smanjenje prvog decila tijekom listopada (-63.4%). Razdioba tromjesečne ljetne količine oborine (lipanj do kolovoz) ima u novijem radoblju povećan medijan (za 17%) kao i prvi decil (za 22%). Time je vjerojatnost za negativna odstupanja 3-mjesečnih količina oborina u ljetnim mjesecima smanjena, pa su u drugoj polovici 20. stoljeća relativno povoljnije prilike za prirod glavnih poljoprivrednih kultura na području Slavonije. U vegetacijskom razdoblju (travanj do rujan) prvi decil razdiobe oborine u drugoj polovici 20. stoljeća je povećan za 17% dok je medijan smanjem za 4% u odnosu na prvo razdo-

blje. Razdioba godišnje količine oborine u hidrološkoj godini (od listopada do rujna) ima smanjenu vrijednost medijana za 4.3%, a blago povećani donji decil (1%). Godišnja količina oborine u standardnoj godini (od siječnja do prosinca) ukazuje na sušnije prilike zadnjih 40 godina dvadesetog stoljeća.

3.3. Usporedba protoka i SPI

Slika 2 prikazuje Pearsonov koeficijent korelacije između standardiziranih nizova protoka i SPI na postaji Donji Miholjac. Koeficijent korelacije u kontinuiranoj usporedbi nizova je pozitivan, ali postoje razlike među pojedinim skalama. Tako je na kraćoj mjesečnoj skali korelacija najslabija i iznosi r = 0.24. Povećanjem vremenske skale povećava se i koeficijent korelacije koji ima maksimalnu vrijednost r = 0.42 za skalu od devet mjeseci.

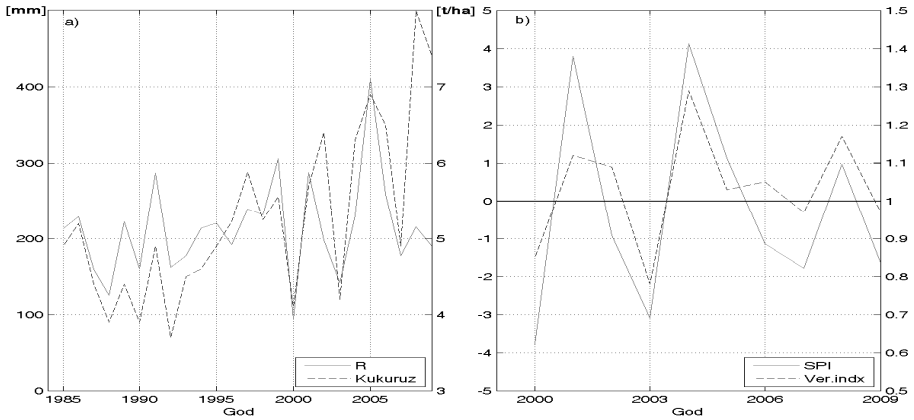


Slika 2. Koeficijent korelacije između mjesečnih protoka i SPI za kontinuirni niz (lijeva slika) i za svaki pojedini mjesec (desna slika) po skalama (x os)

Prema usporedbi standardiziranih protoka i SPI po mjesecima za pojedinu skalu, također postoji vidljiva sezonska razlika u odgovoru protoka na oborinu. Najmanja vrijednost korelacije je na najkraćoj skali od jednog mjeseca. Najveća korelacija između protoka i SPI postoji u ožujku na tromjesečnoj skali koja ima progresivni učinak na više skale. Tako, postoji visoka korelacija u travnju i svibnju na šestomjesečnoj skali (r = 0.58), zatim u srpnju i kolovozu na skali od 9 mjeseci (r=0.58) te je povećana korelacija u kolovozu i rujnu na skali 12 mjeseci (r=0.51). Međutim, daljnjim povećanjem skale se smanjuje i koeficijent korelacije.

3.4. Biljna proizvodnja

Vremenski niz priroda kukuruza i srednje količine oborine u ljetnom razdoblju, za geografski kvadrant 1°x1° stupnja naznačen na slici 1, u pojedinim godinama su dani na slici 3 a). Uočljivo je da su u godinama s malo oborine i prirodi bili mali (1988., 1990., 1992., 2000., 2003.). Relativno mali koeficijent korelacije za promatrano razdoblje od 25 godina koji iznosi r = 0.55 je posljedica vrlo visokih priroda u 2008. i 2009. dok su oborine bile u okvirima normale.



Slika 3. a) Usporedba priroda kukuruza (t/ha) u RH i srednje količine oborine u geografskom kvadrantu iznad istočne Slavonije u razdoblju od lipnja do kolovoza; b) Usporedba verižnog indeksa biljne proizvodnje i odgovarajuće međugodišnje promjene SPI u vegetacijskom razdoblju od travnja do rujna tijekom 2000-2009.(Izvori podataka: DZS i GPCC)

Zanimljivo je da je daleko bolja veza ustanovljena između ukupne biljne proizvodnje u Hrvatskoj i ukupnih količina oborine u toplom dijelu godine (travanj do rujan) za spomenuto relativno malo područje koje obuhvaća istočnu Slavoniju. Na slici 3 b) su prikazani verižni razlomci procjena biljne proizvodnje u pojedinim godinama i odgovarajuće međugodišnje promjene indeksa SPI za vegetacijsko razdoblje (SPI6 za rujan). Biljna proizvodnja koju čini prosjek priroda velikog broja kultura, vrlo je stabilna. Njene promjene iz godine u godinu nisu velike. Najveća je promjena bila 2004. godine u kojoj je biljna proizvodnja bila 29% veća od one u ekstremno sušnoj 2003. godini. Koeficijent korelacije između verižnih promjena proizvodnje i odgovarajućih razlika vrijednosti SPI u uzastopnim godinama iznosi 0.87. Ova činjenica upućuje na to da će se na osnovi dobro razvijenog sustava monitoringa količina oborina u Državnom hidrometeorološkom zavodu te na osnovi sve pouzdanijih sezonskih prognoza vremena Evropskog Centra za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF), biti u mogućnosti da se već sredinom ljeta dobiju dosta pouzdane kvantitativne procjene o ukupnoj biljnoj proizvodnji.

ZAKLJUČAK

Ispitana je korisnost primjene standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) u proučavanju meteorološke, hidrološke i poljoprivredne suše. Klimatološka analiza je pokazala da na području istočne Slavonije postoji značajna povezanost sušnih uvjeta. Najveće suše zabilježene su 1920.-ih godina prošlog stoljeća na vremenskim skalama od 3 do 12 mjeseci, dok je najveći mjesečni deficit oborine u zadnjih 110 godina bio u srpnju 2007. godine. Detaljna analiza promjene medijana između razdoblja 1901-1960. i 1961-2000. prema podacima za Osijek jasno pokazuje da prevladava negativna razlika medijana 3-mjesečnih količina oborine tijekom godine uzrokovana promjenama mjesečnih količina

oborine. Međutim, analiza promjena prvog decila pokazuje da se vjerojatnost za sušu smanjila u drugoj polovici 20 stoljeća.

Usporedbom standardiziranih protoka i vrijednosti SPI na postaji Donji Miholjac pokazano je da postoji povećana korelacija između protoka i SPI na 3- i 6- mjesečnoj skali u proljetnim mjesecima te na 9-mjesečnoj skali ljeti. Međutim, potrebno je detaljnije istraživanje duž cijelog sliva Drave kako bi se moglo zaključiti o korisnosti SPI za hidrološke potrebe.

Konačno, u radu je pokazano da su neki pokazatelji poljoprivredne proizvodnje usko povezani s meteorološkim veličinama. To upućuje na mogućnost razrade složenijih statističkih modela za procjenu priroda poljoprivrednih kultura iz godine u godinu, kao i za procjene utjecaja potencijalnih klimatskih promjena na biljnu proizvodnju.

LITERATURA

[1] Bašić, F., Bogunović, M., Božić, M., Husnjak, S., Jurić, I., Kisić, I., Mesić, M., Mirošević, N., Romić, D. i Žugec, I. (2002): Regionalizacija Hrvatske poljoprivrede, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 274 str.

[2] DZS (2010): Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2010, Državni zavod za statistisku Republike Hrvatske,. Zagreb (www.dzs.hr)

[3] GPCC: Global Precipitation Climatology Center (gpcc.dwd.de)

[4] McKee, T.B., Doeksen, N.J. i Kleist, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration on time scales, Proceedings of the 8th conference of applied climatology (Editor –Anaheim, C.A.), American Meteorology Society, Boston MA, 179-184.

[5] NAP, (2007): Nacionalni program ublažavanja posljedica suše i suzbijanja degradacije zemljišta, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Zagreb.

[6] Vicente-Serrano, S.M. i Lopez-Moreno, J.I. (2005): Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin, Hydrology and Earth System Sciences, 9, 523-533.

[7] Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i drugi. (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

AUTORI

mr. sc. Ksenija Cindrić [a]
dr. sc. Josip Juras [b]
dr. sc. Marjana Gajić-Čapka [a]
Domagoj Mihajlović, dipl.ing. [a]

[a] Državni hidormeteorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska
cindric@cirus.dhz.hr

[b] Geofizički odsjek, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 95, Zagreb, 10 000, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.09.

EFEKTI KLIMATSKIH PROMENA NA VISINU PADAVINA U VOJVODINI

Atila Bezdan, Radovan Savić, Atila Salvai , Gabrijel Ondrašek

SAŽETAK: Sve učestalija i izraženija manifestacija hidrometeoroloških ekstrema tokom ove i prethodnih godina, kao i slična predviđanja na globalnom planu za naredni period, nameću potrebu da se efekti ovakvih pojava analiziraju na pojedinim lokalnim područjima. Od posebnog značaja, uz izražene negativne efekte, može biti javljanje sušnih i prekomerno vlažnih perioda na dominantno poljoprivrednim područjima, kao što je to Vojvodina (preko 75% obradivog zemljišta). Strogi zahtevi poljoprivredne proizvodnje i specifičnosti samog područja čine ga veoma vulnerabilnim na pojavu viška ili manjka vode. U radu se razmatraju visine padavina (mesečne i godišnje sume) registrovane na meteorološkoj stanici Rimski Šančevi kod Novog Sada u periodu od 1924. - 2009. godine. Uočeno je smenjivanje vlažnih i sušnih višegodišnjih perioda. Naročito se izdvajaju izrazito sušni period od 1982. - 1994. godine a odmah potom i veoma vlažan period od 1995. - 2009. godine. Sve učestaliju i intenzivniju pojavu ekstrema potvrđuje i najniža suma padavina registrovana u 2000. godini, upravo između dve najkišnije godine 1999. i 2001.

KLJUČNE REČI: padavine, klimatske promene, periodičnost, Vojvodina

THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGES ON PRECIPITATION IN VOJVODINA

SUMMARY: More frequent and more pronounced manifestation of hydro meteorological extremes during the last years, and similar forecasts on the global scale for the following period, impose the need to analyze the effects of these phenomena on certain areas. Of particular importance, with significant negative effects, could be the occurrence of dry and excessively wet periods in dominantly agricultural areas such as Vojvodina (over 75% of arable land). Because of the agricultural production's strict demands and characteristics of the area, those areas are very vulnerable to water excess or water deficit. In this paper, monthly and annual sums of precipitation were analyzed, registered at the meteorological station Rimski Šančevi near by Novi Sad for the period from 1924. to

2009. Succession of dry and wet periods has been observed. Especially noticeable is the extremely dry period from 1982. to 1994. which is immediately followed by very wet period from 1995. to 2009. Ever more frequent and intensive occurrences of extremes are evident in the lowest precipitation sums registered in 2000, right between two most rainy years 1999. and 2001.

KEY WORDS: precipitation, climate changes, periodicity, Vojvodina

1. UVOD

Sve učestalija i izraženija manifestacija hidrometeoroloških ekstrema tokom prethodnih godina, kao i slična predviđanja na globalnom planu za naredni period, nameću potrebu da se efekti ovakvih pojava sagledaju i analiziraju na pojedinim lokalnim područjima. Od posebnog značaja, uz izražene negativne posledice, može biti javljanje sušnih i prekomerno vlažnih perioda na dominantno poljoprivrednim područjima kao što je to Vojvodina sa oko 85% poljoprivrednog i 75% obradivog zemljišta. Strogi zahtevi poljoprivredne proizvodnje i specifičnosti samog područja čine ga veoma vulnerabilnim na pojavu viška ili manjka vode. Pri tome, prema različitim scenarijima koji su bili u opticaju osamdesetih godina prošlog stoleća, posledice prognoziranih promena su na ovim prostorima, između ostalog, uglavnom trebale da se manifestuju u osetnijem smanjenju ukupnih godišnjih količina padavina, neznatnom povišenju temperatura, izmenjenoj unutargodišnjoj - mesečnoj raspodeli ovih veličina itd. Potom je, devedesetih godina, očekivano ili ne (Zelenhasić et al., 1994.; Savić et al., 1997.; Savić i Salvai, 1997.; Savić, 2000.), akcenat pomeren na pojavu vlažnih perioda, nadprosečnih suma padavina i poplava od unutrašnjih i spoljnih voda. Nakon toga, razmeđe dva milenijuma okarakterisano je naizmeničnim javljanjem, gotovo godinu za godinom, najekstremnijih sušnih i vlažnih epizoda (Savić et al., 1997.; 2000.; Savić, 2000.; Bezdan et al. 2009.). Eventualne promene klime u najvećoj meri bi se odrazile na vodne resurse, vodoprivredu, poljoprivredu, zemljište, ali i na celokupnu životnu sredinu, o čemu najbolje svedoče podaci o štetama nastalim usled suša ili poplava u prethodnom periodu. Ne ulazeći u suštinu i prirodu pomenutih globalnih atmosferskih procesa koji su doveli do navedenih pojava i klimatskih anomalija, u ovom radu je načinjen pokušaj da se analizira samo jedan od njihovih "krajnjih produkata" - padavine. Između ostalih aktivnosti, predviđenih Konvencijom UN o klimatskim promenama i realizacijom Svetskog klimatskog programa, posebno se ukazuje na monitoring režima padavina kao jednog od najznačajnijih klimatskih elemenata, koji predstavlja bitnu podlogu za planiranje, donošenje odluka i sl. pre svega u vodoprivredi, melioracijama, poljoprivredi i drugim granama privrede osetljivim na klimatske faktore.

2. MATERIJAL I METOD

Prirodni hidrometeorološki procesi, u koje spadaju i padavine, imaju slučajan karakter, pa se ne mogu jednostavno opisati matematičkim izrazima, a njihova buduća stanja nije moguće tačno prognozirati, nego se u tu svrhu koriste određene statističke metode. Međutim, često se dešava, naročito u poljoprivrednim istraživanjima i praksi, da se za opisivanje padavina koriste samo najelementarniji statistički pokazatelji a da analizirani niz nije dovoljno dug. Trebalo bi imati u vidu da se ovakve slučajne serije razvijaju

u vremenu, a u zavisnosti od toga da li se njihove karakteristike menjaju razlikuju se stacionarne (hidrometeorološke serije posmatrane u makro-razmerama) i nestacionarne (hidrometeorološke serije u manjim intervalima vremena). Pri tome, u zavisnosti od prirode promenljive veličine, dužine perioda u kome se proces razvija i uticaja sredine i čoveka, slučajne serije mogu imati, manje ili više izraženu, determinističku komponentu koja se manifestuje pojavom periodičnosti, skokovitim promenama ili trendom (Zelenhasić, 2002).

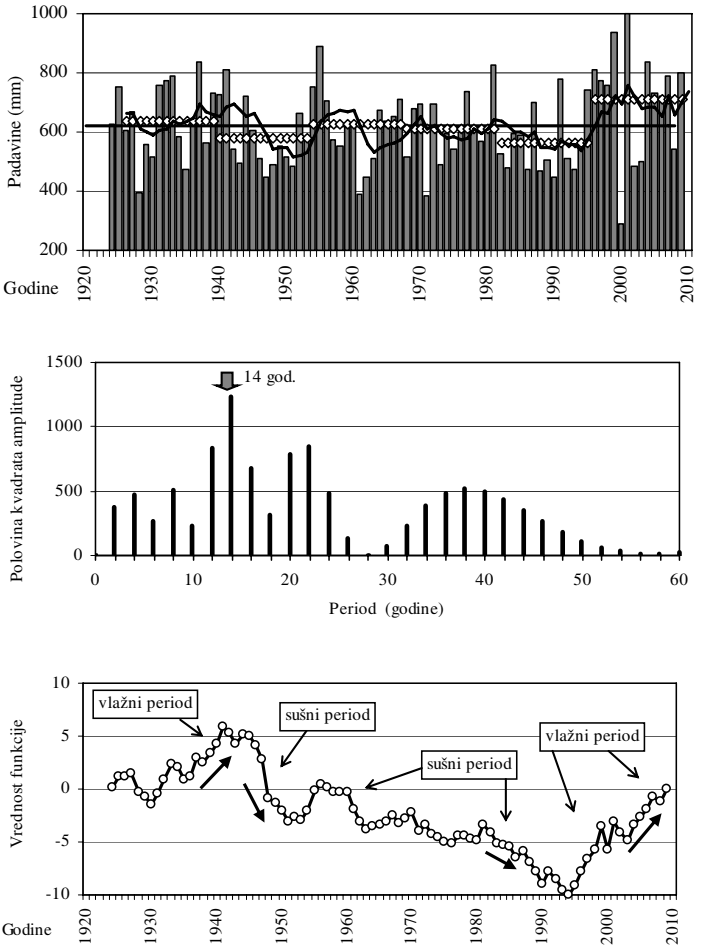
Osnovu za analizu nekog niza podataka - slučajne vremenske serije, u ovom slučaju godišnjih i mesečnih suma padavina, predstavljaju rezultati kontinualnih i sistematskih višegodišnjih osmatranja i merenja. Da bi sve primenjene analize bile korektno sprovedene, a sama pojava potpunije sagledana i prikazana, neophodno je da za analizu izdvojeni uzorak obuhvati dovoljno dug vremenski period. Pored toga neizostavno se moraju sprovesti i tzv. prethodne statističke analize koje, između ostalog, obuhvataju i utvrđivanje reprezentativnosti, konzistentnosti, nezavisnosti, homogenosti, cikličnosti i sl. U suprotnom, po pravilu, se dolazi do nedovoljno pouzdanih zaključaka i ocena. Za prikaz i analizu količina i vremenskog rasporeda godišnjih i mesečnih suma padavina u ovom radu obrađeni su podaci sa meteorološke stanice Rimski Šančevi kod Novog Sada. Prostorno posmatrano m.s. R.Šančevi (45°19′20″ N; 19°49′48″ E) locirana je u centralnom delu Vojvodine, a osmotreni podaci u odnosu na druge meteorološke stanice na području nisu ekstremni, tako da se može reći da na neki način ova stanica odslikava karakteristično, približno prosečno, stanje za celo posmatrano područje. Analizom je obuhvaćen period od 1924. godine kada su u pitanju godišnje sume padavina, odnosno, od 1948. godine za mesečne sumarne vrednosti, što predstavlja solidnu osnovu za sprovođenje svih statističkih analiza i donošenje odgovarajućih zaključaka. U ovom radu se primenjuju samo neki od osnovnih statističkih pokazatelja koji ipak mogu dovoljno argumentovano i slikovito da prikažu zabeležene količine i raspored padavina tokom analiziranog perioda, kao i značajnost eventualnih promena u odnosu na prethodne višegodišnje proseke. Analize treba da ukažu na eventualne promene u režimu padavina, odnosno na smanjenje ili povećanje padavina na godišnjem nivou ili u pojedinim mesecima.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na hronološkom prikazu godišnjih suma padavina, za posmatranu meteorološku stanicu Rimski Šančevi (slika 1a), mogu se uočiti oscilacije godišnjih suma u odnosu na višegodišnju prosečnu vrednost od 622 mm. Na istoj slici su naznačene i 14-to godišnje „parcijalne" aritmetičke sredine i kriva pokretniih aritmetičkih sredina koje ukazuju na vlažne i sušne periode, odnosno iznad i ispod prosečne količine padavina. Tako se na primer, od 1982. - 1994. godine manifestovao jedan sušni period, da bi zatim, počev od 1995. godine nastupio izrazito vlažan period. Slični vlažni i sušni periodi javljali su se i u prošlosti, ali nisu bili ovakvog intenziteta a njihova smena je bila postepena, slika 1. Pored toga, poslednjih petnaestak godina učestala je pojava i smena apsolutnih ekstremnih kako maksimalnih tako i minimalnih vrednosti. Uočava se, da su 1999. godine sa padavinama od 937 mm i odmah potom 2001. godine sa 999 mm zabeležene dve najveće godišnje sume, dok je, između njih, 2000. godina bila sa najmanje padavina (289 mm) za ceo analizirani period od 1924. godine. Osim visokih padavina iz pomenutih 1999. i 2001. godine,

u periodu od 1995. - 2009. godine primetno je učestala pojava kišnih godina. Tako je u ovom intervalu bilo čak 11 godina sa padavinama znatno iznad višegodišnjeg proseka (722 - 999 mm), a samo 4 sa padavinama nižim od prosečnih (289 - 545 mm). Ovakva raspodela kišnih i sušnih godina odstupa od višegodišnje pri kojoj je na ovoj meteorološkoj stanici za analizirani period zabeleženo 39 godina (45%) sa padavinama iznad proseka i 47 godina (55%) sa padavinama ispod prosečnih suma.

Najverovatnija dužina hidroloških ciklusa određena je periodogram analizom (slika 1b). Procenijeni su parametri u harmonicima periodičnih komponenti i spektralnom analizom određena maksimalna vrednost polovine kvadrata amplitude koja ukazuje na dužinu uočenih ciklusa od 14 godina. Hronološko trajanje i smenjivanje sušnih i vlažnih perioda može se determinisati i pomoću integralne funkcije modulnih odstupanja. Pri tome, porast vrednosti ove funkcije označava suficit, odnosno kišni niz godina, a opadanje krive određuje deficit padavina u odnosu na prosek (slika 1c.). Na integralnoj funkciji modulnih odstupanja jasno se može primetiti završetak jednog izrazito sušnog i početak drugog znatno vlažnijeg perioda 1994./1995. godine.



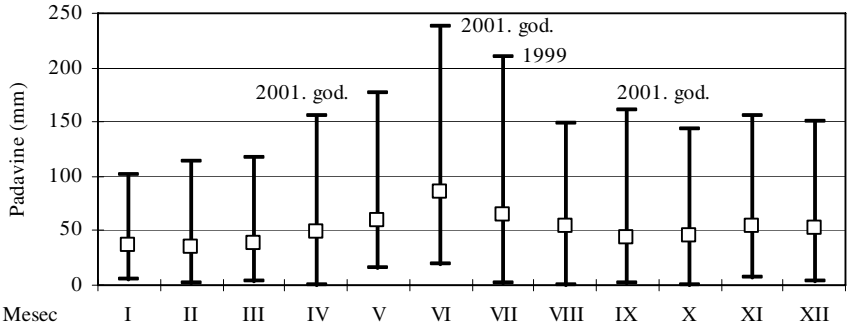
Slika 1.

a) Sume godišnjih padavina, njihova prosečna vrednost i 14-godišnje pokretne sredine;

b) Periodogram;

c) Integralna kriva modulnih odstupanja; M.S. Rimski Šančevi, 1924. - 2009.

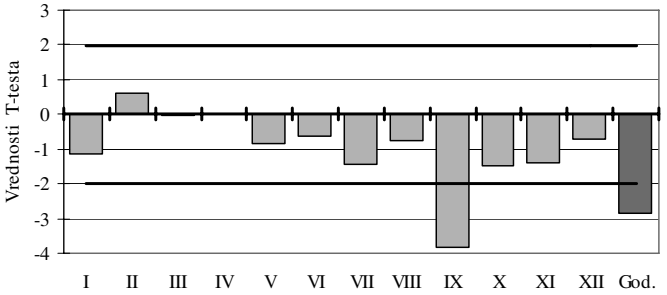
Unutargodišnja raspodela padavina pokazala je da prosečna mesečna suma iznosi 52 mm. Pri tome su V, VI i, VII meseci sa prosečnim sumama padavina iznad srednje vrednosti (redom 59, 86 i 65 mm), meseci I, II, III, IX i X su ispod (35 - 45 mm), a IV, VIII, XI i XII u nivou (48 - 54 mm) mesečnog proseka (slika 2). Maksimalne mesečne vrednosti su oko 3 puta (2,7 - 3,2) veće od prosečnih i u pojedinim mesecima ekstremno vlažnih godina premašuju 150 pa i 200 mm što po pravilu prevazilazi infiltracione sposobnosti zemljišta i dovodi do prevlaživanja i plavljenja obradivih površina. Karakteristično je da su čak četiri mesečna maksimuma postignuti tokom 1999. i 2001. godine.



Slika 2. Minimalne, prosečne i maksimalne mesečne sume padavina M.S. R .Šančevi, 1948. - 2009.

	Mesečne vrednosti												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Period 1: 1948 - 1994; N=47													
Min. 1	5	3	3	15	15	20	2	8	2	0	9	3	384
Max. 1	102	113	117	90	134	204	169	148	89	113	156	150	888
Avg. 1	36	38	36	48	55	87	63	55	37	39	51	54	599
STD 1	23	29	24	17	31	41	41	34	22	33	29	32	113
Period 2: 1995 - 2009; N=15													
Min. 2	8	1	9	0	17	28	30	6	13	1	18	21	289
Max. 2	82	51	79	156	99	237	209	134	160	142	143	138	999
Avg. 2	43	33	37	48	63	95	81	64	70	55	65	61	714
STD 2	20	17	23	43	27	52	50	44	41	44	43	35	186
Δ Avg.	-8	5	0	0	-8	-8	-19	-9	-32	-16	-14	-7	-115
t	-1.14	0.62	-0.02	0.00	-0.83	-0.61	-1.44	-0.78	-3.83	-1.48	-1.41	-0.73	-2.85

Tablica 1. Statistički pokazatelji i vrednosti Studentovog T-testa, Period 1: 1948 - 1994; N=47 i Period 2: 1995 - 2009; N=15



Slika 3. Rezultati Studentovog T-testa za mesečne i godišnje sume padavina (period 1995. - 2009. u odnosu na period 1948. - 1994.),MS Rimski Šančevi (za prag značajnosti α=0,05 i odgovarajući broj stepeni slobode granične vrednosti za prihvatanje hipoteze su ±1,99)

Kod neke slučajne vremenske serije, kao što su to mesečne i godišnje sume padavina, neminovno je da pojedinačne vrednosti osciluju oko višegodišnjih proseka. Statistička značajnost ovakvih odstupanja i njihovih promena za posmatrani niz podataka razmatrana je za periode od 1948. - 1994. i 1995. - 2009. godine i proverena Studentovim T-testom. Dobijeni rezultati nesumnjivo potvrđuju da je došlo do izvesnih promena koje se ogledaju uglavnom u povećanju mesečnih suma padavina za 7 do 32 mm u drugom periodu. Izuzetak je II mesec u kome je došlo do smanjenja padavina u proseku za oko 5 mm i III i IV mesec za koje nisu uočene razlike u ova dva perioda. Takođe je, u periodu 1995. - 2009. konstatovano povećanje godišnjih suma padavina u odnosu na prethodni period od 599 mm na 714 mm, odnosno za 115 mm u proseku, (tablica 1). Kao statistički značajne mogu se okarakterisati promene konstatovane za IX mesec i za godišnje sume. Odnosno, ove sume padavina su signifikantno različite od korespodentnih vrednosti iz perioda 1948. - 1994. godine i nisu u skladu sa očekivanim za usvojeni prag značajnosti. Rezultati T-testa su prikazani na slici 3, sa naznačenim graničnim vrednostima za prihvatanje hipoteze, za usvojeni prag značajnosti α=0,05 i odgovarajući broj stepeni slobode, t= ± 1,99.

ZAKLJUČAK

Godišnje sume padavina na meteorološkoj stanici Rimski Šančevi kod novog Sada u analiziranom periodu od 1924. - 2009. godine bile su u opsegu od 289 do 999 mm, uz prosek od 622 mm. Pri tome, uočeno je smenjivanje vlažnih i sušnih višegodišnjih perioda. Naročito se izdvajaju izrazito sušni period od 1982. - 1994. godine sa prosečnom godišnjom sumom od 562 mm, a odmah potom i veoma vlažan period 1995. - 2009. godine sa prosečnim padavinama od 714 mm godišnje. Tokom ovog poslednjeg perioda konstatovane su i apsolutne maksimalne godišnje visine padavina, prvo 1999. godine od 937 mm, te zatim i 2001. godine od 999 mm. Sve učestaliju i intenzivniju pojavu ekstrema potvrđuje i najniža suma padavina registrovana u 2000. godini, upravo između navedene dve najkišnije. Ustanovljene promene u godišnjim sumama padavina u ovom periodu ocenjene su kao statistički značajne.

Unutargodišnji raspored padavina takođe je pretrpeo izvesne promene koje se u periodu 1995. - 2009. godine manifestuju prosečnim povećanjem mesečnih suma padavina od 7

do 32 mm (izuzetak su II, III i IV mesec). Najznačajnije povećanje mesečnih padavina, statistički signifikantno, registrovano je u IX mesecu. Pored toga, u ovom periodu konstatovane su i apsolutno najveće mesečne visine padavina od preko 200 mm koje mogu predstavljati ozbiljne smetnje i poteškoće za vodoprivredu, melioracije, poljoprivredu i druge delatnosti, te prouzrokovati štete ozbiljnih razmera.

LITERATURA

[1] Bezdan, A., Savić, R., Salvai A., (2009): Analysis of precipitation quantity in Vojvodina, Journal of Engineering Annals of Faculty of Enngineering Hunedoara, 7, 4, 199-202.

[2] Salvai, A., Zelenhasić, E., Savić, R.,(1994): Analiza cikličnosti proticaja većih reka Jugoslavije, Monografija "Uređenje, korišćenje i zaštita voda Vojvodine", Poljoprivredni fakultet, Institut za uređenje voda, Novi Sad, 25-36.

[3] Savić, R., (2000): Ekstremne padavine - najznačajniji uzrok poplava od unutrašnjih voda u vojvodini 1999/2000. godine, Melioracija - poplave od unutrašnjih voda, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 118-124.

[4] Savić, R., Letić, Lj., Salvai, A., (2000): Precipitation quantity changes in Vojvodina, Jubileen sbornik naučni dokladi 75 godini visše lesotehničesko obrazovanije v Bulgarija, Sofia, Bulgaria, 341-346.

[5] Savić, R., Salvai, A., Belić, S., (1997): Padavine - trajno smanjenje ili ciklične promene?, Eko-konferencija '97, Novi Sad, 175-180.

[6] Savić, R., Salvai, A., (1997): Precipitation periodicity as a factor in drought analysis, International symposium Drought and plant production, Belgrade, 61-67.

[7] Zelenhasic, E., (2002): On the Extreme Streamflow Drought Analysis, Water Resources Management, 16,2, 105-132.

[8] Zelenhasić E., Salvai A., Smailagić Jasmina, Savić R., (1994): Ispitivanje cikličnosti niza nekih meteoroloških veličina u Srbiji, Zbornik radova Građevinskog fakulteta u Subotici, Građevinski fakultet, Subotica, 10, 129-141.

AUTORI

Ass. mr Atila Bezdan [a]

Prof. dr Radovan Savić [a]

Prof. dr Atila Salvai a

Doc. dr Gabrijel Ondrašek [b]

[a] Poljoprivredni fakultet, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija, bezdan@polj.uns.ac.rs

[b] Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska, gondrasek@agr.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.10.

PROMJENLJIVOST GODIŠNJE KOLIČINE OBORINE NA ŠIREM ZAGREBAČKOM PODRUČJU I DIJELU SREDIŠNJE HRVATSKE

Renata Sokol Jurković

SAŽETAK: Promjenljivost godišnje količine oborine važan je indikator klimatskih promjena te uvelike utječe na korištenje ili planiranje rada vodnog gospodarstva. Cilj ovog rada je pružiti uvid u promjenljivost godišnjih količina oborine na širem zagrebačkom području i dijelu središnje Hrvatske te razlučiti moguće prostorne razlike promjenljivosti obzirom na orografiju. Oborina je analizirana za razdoblje 1961-2000. na 30 meteoroloških postaja. Promjenljivost godišnje količine oborine je analizirana pomoću anomalije koeficijenta varijacije. Povećana anomalija je detektirana na obroncima gorja ili u podnožju dok se u dolini Save nailazi na negativnu anomaliju koeficijenta varijacije. Provjerom prikaza promjenljivosti godišnje količine oborine u globalnim podacima za područje središnje Hrvatske utvrđeno je djelomično poklapanje povećane anomalije koeficijenta varijacije. Trend anomalije koeficijenta varijacije je na svim promatranim postajama negativan. Usporedbom koeficijenata varijacije za razdoblja 1959-1978. i 1979-2000. također je uočeno smanjenje.

KLJUČNE RIJEČI: promjenljivost godišnje količine oborine, zagrebačko područje, anomalija koeficijenta varijacije, trend

SPATIAL VARIABILITY OF ANNUAL PRECIPITATION IN GREATER ZAGREB AREA AND PART OF CENTRAL CROATIA

SUMMARY: Variability of annual precipitation is important indicator of climate change and has a great influence on water resources planning. Main goal of this paper is to give insight in variability of annual precipitation in central Croatia and to distinguish possible spatial differences due to orography. Precipitation in period 1961-2000 at 30 meteorological stations in central Croatia is analyzed. Coefficient of variation and anomaly of coefficient of variation is used for variability analysis. Higher anomaly is detected on hill slopes or footage while in Sava valley anomaly is negative. In global representation of precipitation variability for central Croatia, partial coincidence in higher anomaly is found. Anomaly trend is negative at all considered stations. By comparison of coefficient of variations for periods 1959-1978 and 1979-2000 decrease of variability is also noticed.

KEYWORDS: variability, annual precipitation, Zagreb area, anomaly, coefficient of variation, trend

1. UVOD

Promjenljivost godišnje količine oborine važan je faktor u određivanju klimatskih osobitosti nekog područja. Analizu promjenljivosti količine oborine koriste razne grane geoznanosti, od hidrologije, čije su podloge od velike važnosti za izgradnju i održavanje hidrotehničke infrastrukture do agronomije, gdje o promjenljivosti oborine uvelike ovisi agrokultiviranje nekog područja.

Oborina je prostorno vrlo promjenjiv meteorološki element stoga se mjeri na velikom broju postaja no u globalnim ili regionalnim prikazima s malom rezolucijom Hrvatska je najčešće prikazana s malim brojem točaka. Jedan takav set podataka na globalnoj mreži proizašao je iz Vasclimo projekta te se pomoću seta podataka sa 30 postaja analizira koliko dobro globalni prikazi mogu «uloviti» promjenljivost godišnje količine oborine na području središnje Hrvatske.

Cilj rada je pružiti uvid u promjenljivost godišnjih količina oborine te trenda promjenljivosti na širem zagrebačkom području i dijelu središnje Hrvatske te razlučiti moguće prostorne razlike obzirom na orografiju.

Analiza promjenljivosti oborine na širem zagrebačkom području pomoću koeficijenta varijacije provedena je u radu Gajić-Čapka (1982) za razdoblje 1959-1978. Već tada je zaključeno da na oborinski režim šireg zagrebačkog područja utječe prije svega orografija i glavna sinoptička strujanja, a da se koeficijent varijacije godišnjih količina oborine na različitim lokacijama ne razlikuje previše. U istom radu je definirana «kišna sjena» od Medvednice i Samoborskog gorja kao područje sa smanjenom količinom oborine.

U ovom radu se promjenljivost oborine na širem zagrebačkom području i dijelu središnje Hrvatske analizira pomoću anomalije koeficijenta varijacije za razdoblje 1961-2000. Utjecaj klimatskih promjena na promjenljivost godišnje količine oborine provjeren je analizom trenda anomalije koeficijenata varijacije za 5-godišnja klizna razdoblja.

2. PODACI I METODE

U radu su korišteni podaci mjesečne i godišnje količine oborine za 30 postaja u široj okolici Zagreba i dijelu središnje Hrvatske u razdoblju 1961-2000. Postaje su različitog ranga, a nedostajući podaci su prostorno interpolirani. Postaje u Hrvatskoj su odabrane da se dobije što bolji uvid u utjecaj Medvednice i Samoborskog gorja na promjenljivost oborine u središnjoj Hrvatskoj, a popis postaja se može naći u tablici 1.

Kontrolni set podataka je preuzet iz Vasclimo projekta, koji sadrži mjesečne količine oborine za globalnu skalu u razdoblju 1951-2000. na pravilnoj mreži od 0.5, 1 i 2.5 stupnjeva.

Promjenljivost količine oborine obično se promatra kroz statističke veličine kao što su srednjak, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Zbog čvrste ovisnosti o srednjoj količini oborine, standardna devijacija ne može dati jasnu sliku o promjenljivosti količina oborine. Za tu svrhu prikladnije su relativne mjere. Iako je koeficijent varijacije mjera za promjenljivost oborine, koja se najčešće upotrebljava, pokazalo se da je anomalija koeficijenta varijacije veličina koja u još manjoj mjeri ovisi o srednjoj godišnjoj količini oborine te je pogodnija za analizu promjenljivosti (Sokol, 2009). Anomalija koeficijenta varijacije je definirana kao razlika izračunatog koeficijenta varijacije i modeliranog koeficijenta varijacije za cijelo promatrano područje.

Koeficijent varijacije modelira u obliku (Sokol, 2009):

$$C_{vS} = \frac{A}{\overline{X} + B} + C \quad (1)$$

a anomalija koeficijenta varijacije tada iznosi:

$$\Delta = C_{v(mj)} - C_{v(teor)} \quad (2)$$

Negativna anomalija koeficijenta varijacije ukazuje da je promjenljivost oborine manja od očekivane, odnosno razlike od godine do godine su manje dok pozitivna anomalija upućuje na postojanje godina s većim odstupanjem od prosječnog.

Da bi se provjerila međusobna povezanost, izračunat je koeficijent korelacije između koeficijenta varijacije i srednje godišnje količine oborine te između anomalije koeficijenta varijacije i srednje godišnje količine oborine.

Ovakva analiza je provedena za godišnju količinu oborine za sve točke globalne mreže rezolucije 0.5°x0.5° te je izdvojeno promatrano područje središnje Hrvatske.

Za analizu trenda anomalije koeficijenta varijacije izračunati su 5-godišnji klizni srednjaci za svaku postaju te pripadni koeficijenti varijacije. Linearni trend anomalije koeficijenta varijacije je proveden na anomalijama iz 5-godišnjih kliznih razdoblja.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Srednja godišnja količina oborine na promatranom području kreće se između 838.4 mm na postaji Sv. Ivan Žabno i 1251.9 mm na meteorološkoj postaji Puntijarka (tab.1). U skladu s već ranije dobivenim rezultatima (Gajić-Čapka, 1982) javlja se smanjena količina oborine na području istočnije od Medvednice i Samoborskog gorja. Kao što je napomenuto u poglavlju 2. podaci i metode, očekuje se da veća količina oborine ima i veću standardnu devijaciju, a njihovu umjereno čvrstu vezu potvrđuje i koeficijent korelacije koji iznosi 0.62. U diplomskom radu Sokol (2009) pokazano je da na globalnoj razini i koeficijent varijacije u određenoj mjeri ovisi o srednjoj godišnjoj količini oborine te se tražio parametar koji sa srednjom godišnjom oborinom nema direktnu vezu. Koeficijent korelacije između koeficijenta varijacije i srednje godišnje količine oborine za 30 promatranih postaja iznosi -0.1 što pokazuje da povezanost između koeficijenta varijacije i srednje godišnje količine oborine gotovo ne postoji. Nadalje se istražuje ovisnost anomalije koeficijenta varijacije i srednje godišnje količine oborine. Budući da se želi promatrati promjenljivost oborine kao parametar koji minimalno ovisi (ili uopće ne ovisi) o srednjoj količini oborine, koeficijent korelacije od 0.001 između anomalije koeficijenta varijacije i srednje godišnje količine oborine nametnuo je anomaliju kao još bolju veličinu za promatranje promjenljivosti oborine.

Nakon izračuna koeficijenata *A*, *B* i *C,* koeficijent varijacije za promatrano područje izveden iz podataka za 30 promatranih postaja modelira se prema:

$$C_{vS} = \frac{1359}{\overline{X} + 0.001} + 13.43 \quad (3)$$

Prostorna raspodjela koeficijenta varijacije pokazuje da su razlike među postajama male (12.7-18.8%). U polju anomalije koeficijenta varijacije (sl. 1.) na promatranom području ističu se dvije visoke vrijednosti, na postaji Klinča Selo anomalija koeficijenta varijacije

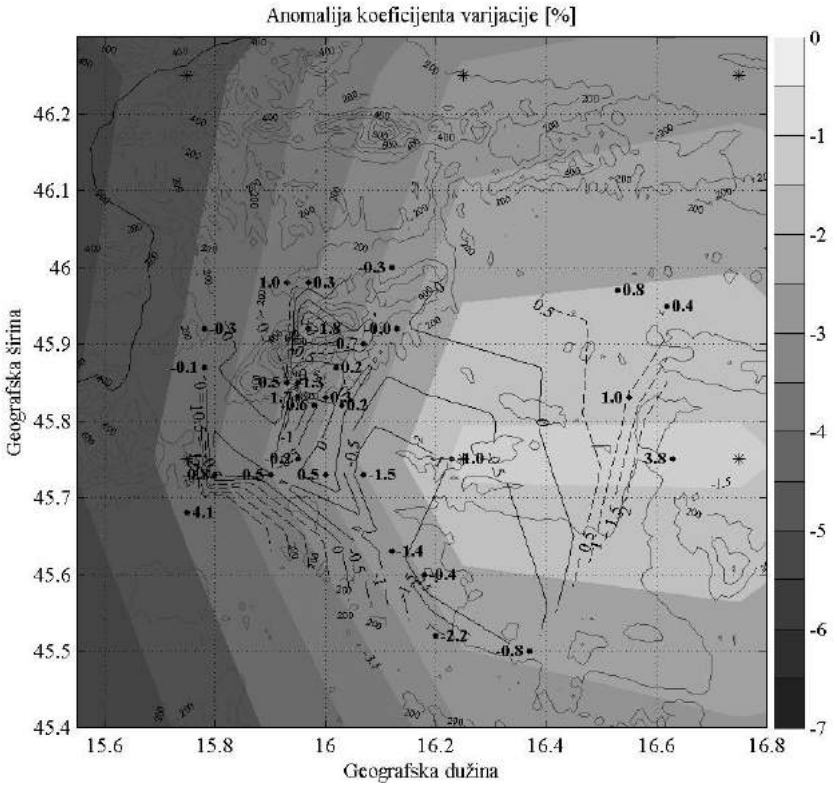
iznosi 4.1% što je ujedno i maksimum za promatrano područje, te na postaji Čazma gdje anomalija iznosi 3.8%. Postaje koje imaju pozitivnu anomaliju koeficijenta varijacije, odnosno promjenljivost oborine je veća od očekivane, smještene su u podnožju Samoborskog gorja, u podnožju Medvednice te na istočnom dijelu središnje Hrvatske i ukupno ih je 14. Većina zagrebačkih postaja smještenih sjeverno od Save ima pozitivnu anomaliju koeficijenta varijacije, a samo Zagreb-Grič i Zagreb-Bijenik imaju negativnu anomaliju. Područje između Samoborskog gorja i Medvednice te jugoistočno dolinom Save označeno je koeficijentom varijacije manjim od normalnog.

Postaja	**R (mm)**	**sd (mm)**	**c_v (%)**	**Δ (%)**
Zagreb-Mikulići	957.4	146.6	15.3	0.5
Klinča Selo	1125.2	211.3	18.8	4.1
Zagreb-Bijenik	930.8	122.3	13.1	-1.7
Zagreb-Šestine	946.5	152.8	16.1	1.3
Dubrava Gradec	935.7	148.7	15.9	1.0
Zagreb-Maksimir	857.3	130.1	15.2	0.2
Zagreb-Grič	883.4	127.2	14.4	-0.6
Križevačka Poljana	878.2	138.7	15.8	0.8
Kašina	908.1	135.2	14.9	0.0
Donja Stubica	1019.7	153.1	15.0	0.3
Marija Bistrica	972.2	141.5	14.6	-0.3
Sv. Ivan Žabno	838.4	129.6	15.5	0.4
Čazma	880.3	165.2	18.8	3.8
Lekenik-Vukojevac	906.8	131.3	14.5	-0.4
Zagreb-Botinec	965.3	141.4	14.6	-0.2
Puntijarka	1251.9	158.9	12.7	-1.8
Sisak	885.0	125.0	14.1	-0.8
Zagreb-Pleso	929.8	124.6	13.4	-1.5
Brezovica	960.3	137.6	14.3	-0.5
Buševec	922.7	124.9	13.5	-1.4
Čučerje	979.3	138.5	14.1	-0.7
Zagreb-Rim	936.7	142.1	15.2	0.3
Stubičke Toplice	1054.2	165.4	15.7	1.0
Letovanić	950.1	120.3	12.7	-2.2
Odra	938.1	144.3	15.4	0.5
Rugvica	908.4	126.7	13.9	-1.0
Rakov Potok	1058.3	146.7	13.9	-0.8
Zagreb-Markuševac	948.8	142.7	15.0	0.2
Brdovec	979.4	144.2	14.7	-0.1
Donja Pušća	977.9	141.8	14.5	-0.3

Tablica 1. Postaje korištene u izračunima te njihova srednja godišnja oborina R (mm), standardna devijacije sd (mm), koeficijent varijacije c_v (%) i anomalija koeficijenta varijacije (%). Razdoblje 1961-2000.

Usporedba anomalije koeficijenta varijacije globalne mreže s podacima sa 30 postaja ukazuje da je bez obzira na slabu rezoluciju globalne mreže (~50x50 km) vidljiva povećana promjenljivost oborine istočnije od Zagreba u odnosu na druge dijelove promatranog područja, no anomalija iz globalnih podataka je na cijelom promatranom području negativna.

Za proračun trenda korištena su 5-godišnja klizna razdoblja te je anomalija koeficijenta varijacije izračunata kao razlika koeficijenta varijacije za svako 5-godišnje razdoblje i modeliranog koeficijenta varijacije za razdoblje 1961-2000. Trend promjenljivosti godišnje količine oborine na cijelom promatranom području je negativan i iznosi između -3.3% i -1.0% u 10 godina. Najveći negativni trend zabilježen je na postajama Sv. Ivan Žabno i Puntijarka, dok se promjenljivost godišnje količine oborine najmanje smanjuje na postajama u dolini Save, primjerice Rugvica i Zagreb-Botinec. Smanjenje promjenljivosti količine oborine uočava se i usporedbom koeficijenta varijacije za razdoblje 1959-1978., analizirano u radu Gajić-Čapka (1982) i koeficijenta varijacije za razdoblje 1979-2000. Na postajama s većim koeficijentom varijacije u razdoblju 1959-1978. primjećuje se znatniji pad promjenljivosti u novijem razdoblju. Oborinski režim je u novijem razdoblju stalniji, odnosno, razlike među godinama su manje. Valja napomenuti da u analizu nije uključeno posljednje desetljeće te tako ni sušna 2003. i kišna 2010. godina. Njihovo uključivanje u analizu značajno bi promijenilo sliku promjenljivosti godišnje količine oborine u središnjoj Hrvatskoj te tako i njen trend.



Slika 1. Anomalija koeficijenta varijacije iz globalnog izračuna interpolirana između točaka pravilne mreže (%). Točke – postaje i pripadna anomalija koeficijenta varijacije (%). Puna crna linija – izolinije negativne anomalije koeficijenta varijacije, crtkana linija – izolinije pozitivne anomalije koeficijenta varijacije iz izračuna sa 30 postaja. Razdoblje 1961-2000.

ZAKLJUČAK

U radu je analizirana promjenljivost oborine pomoću anomalije koeficijenta varijacije. Iako ni sam koeficijent varijacije na ovako uskom području ne ovisi o srednjoj godišnjoj količini oborine, pokazano je da anomalija još u manjoj mjeri ovisi o srednjoj godišnjoj oborini te je time prikladnija veličina za analizu promjenljivosti nego sam koeficijent varijacije.

Povećana promjenljivost godišnje količine oborine utvrđena je na području Moslavine te istočno od Samoborskog gorja. Većina postaja s pozitivnom anomalijom se nalaze na obroncima gorja ili u podnožju dok se u dolini Save nailazi na negativnu anomaliju koeficijenta varijacije. U prikazu anomalije dobivene iz globalnih podataka uočava se poklapanje povećane promjenljivosti na području Moslavine dok zbog malog broja točaka na tom području maksimum anomalije istočno od Samoborskog gorja nije «ulovljen».

Analiza trenda anomalije koeficijenta varijacije za razdoblje 1961-2000. je pokazala da se promjenljivost oborine smanjuje na svim promatranim postajama, odnosno na godišnjoj razini oborinski režim je stalniji. Isti trend pokazuje i usporedba koeficijenta varijacije za razdoblje 1959-1978. i 1979-2000. Najveće smanjenje je uočeno na postajama koje su u starijem razdoblju imale veću promjenljivost. Smanjena je učestalost i/ili magnituda kišnih ili sušnih godina što je svakako pozitivno za poljoprivredu šireg zagrebačkog područja te važan podatak za upravljanje vodnim resursima.

Iako je anomalija koeficijenta varijacije bolji parametar za promatranje promjenljivosti oborine, za ovako usko područje dovoljno je promatrati koeficijent varijacije.

LITERATURA

[1] Gajić-Čapka, M, (1982): *Varijabilnost prosječnog oborinskog režima šire zagrebačke regije*, Rasprave – Papers, 17, 23-40.

[2] Sokol, R, (2009): *Promjenjivost godišnje količine oborine na globalnoj mreži prostorne rezolucije 0.5°x0.5°*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

AUTOR

Renata Sokol Jurković, dipl. ing.

Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska

E-mail: renata.sokol@cirus.dhz.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.11.

OKSIDACIJSKO STANJE ORGANSKE TVARI U OBORINAMA

Palma Orlović-Leko, Slađana Strmečki, Jelena Dautović, Mia Malinarić, Zlatica Kozarac, Božena Ćosović, Marta Plavšić

SAŽETAK: U dnevnim uzorcima oborina, uzorkovanim metodom otvorenog uzorkivača (suho i mokro taloženje), u centru grada Zagreba od 21. siječnja 2009. do 15. lipnja 2010. godine ispitivani su pokazatelji organskih tvari u prirodnim vodama, kao što su: otopljeni organski ugljik (DOC), partikularni organski ugljik (POC), kemijska potrošnja kisika (KPK), površinski aktivne tvari (PAT) i kapacitet kompleksiranja za ione bakra (LT).

Rađeno je preliminarno istraživanje oksidacijskog stanja organske tvari. Dobivene vrijednosti, u širokom rasponu od -4 do +1,2, pokazale su niski stupanj oksidacije organske tvari u oborinama. Za većinu uzoraka, raspon vrijednosti oksidacijskog stupnja je bio znatno manji (0 – 1,2) što ukazuje na prisutnost formaldehida i organskih kiselina.

KLJUČNE RIJEČI : oksidacijsko stanje, organska tvar, oborine.

OXIDATION STATE OF ORGANIC MATTER IN THE BULK ATMOSPHERIC PRECIPITATION

SUMMARY: Oxidation state of organic matter has been investigated in the daily bulk precipitation samples, collected in the city of Zagreb from 21 January 2009 to 15 June 2010. Obtained values varied in a wide range, from -4 to +1.2, and demonstrated a low degree of the oxidation state of the organic matter in the precipitation. For most of the samples, the range of the values of the oxidation state was low i.e. in the range (0 - +1.2) which suggests the presence of the type of organic compound like formaldehyde and weak organic acids.

Collective parameters, important for characterization of organic matter in the natural water dissolved organic carbon (DOC), particular organic carbon (POC), chemical oxygen demand (COD), surface active substances (SAS) and complexing capacity values for copper ions (LT) have been considered.

KEYWORDS: oxidation state, organic matter, bulk precipitation

1. UVOD

Voda je važna komponenta atmosfere iako zauzima manje od 2 % njenog ukupnog volumena. Prosječno vrijeme zadržavanja vode u atmosferi je oko desetak dana a varira sa zemljopisnom širinom. Mnogi atmosferski kemijski sastojci u tragovima koji su otopljeni u atmosferskoj vodi, također imaju tendenciju zadržavanja u atmosferi oko desetak dana. Interakcija između atmosfere i površinskih vodenih sustava je značajna za kruženje organske tvari i drugih mikrokonstituenata u okolišu i ima odlučujuću ulogu u globalnim promjenama i zaštiti okoliša. Oborine učinkovito uklanjaju tvari u tragovima iz atmosfere. Kišom se najbolje ispiru topljivi, polarni, spojevi, zatim djelomično hlapljivi spojevi dok je ispiranje hlapljivih organskih spojeva vrlo nisko. Međutim, u globalnom smislu, oborine mogu oslabiti oksidacijski potencijal atmosfere t.j. mogu umanjiti mogućnost oksidacije specija u tragovima. Jedan od razloga je taj, što vodene kapljice smanjuju koncentraciju topljivih plinskih specija u tragovima, napr. formaldehida koji je izvor hidroperoksi radikala (HO_2) u plinskoj frakciji. Kapljice također mogu reducirati koncentraciju drugih specija plinske frakcije uslijed specifičnih reakcija. Na primjer, ozon koji je vrlo značajan oksidans u atmosferi, iako nije dobro topljiv, može reagirati u kapljicama s radikalom O_2^- i tako može biti uklonjen iz atmosfere. Nadalje, pomak u koncentraciji ozona može značajno utjecati na kemijske procese u atmosferi (Brimblecombe, 1996).

Oksidacijsko stanje organske tvari u uzorcima prirodnih voda može se procijeniti iz podataka za ukupni organski ugljik (Total Organic Carbon, TOC) izražen u molC/L i kemijsku potrošnju kisika (KPK) izraženu u molO_2/L, prema jednadžbi 4(TOC–KPK)/TOC (Stumm i Morgan, 1996). Ukupni organski ugljik predstavlja zbroj vrijednosti dobivenih mjerenjem otopljenog organskog ugljika (Dissolved Organic Carbon, DOC) i partikularnog organskog ugljika (Particulate Organic Carbon, POC). Navedeni ukupni parametri se često koriste za kvantitativnu procjenu prisutne organske tvari u prirodnim vodama. Kemijska potrošnja kisika je količina kisika potrebna za kemijsku razgradnju organske tvari. To je mjera redukcijskog kapaciteta organske tvari.

Kišnica sadrži nekoliko miligrama na litru otopljenog organskog ugljika (DOC) (Orlović-Leko i dr., 2004; 2009), koga čine organski spojevi koji prolaze kroz stakleni filter veličine pora 0,7 μm dok se partikularni organski ugljik zadržava na filteru. Uklanjanje kišom atmosferskog otopljenog organskog ugljika igra značajnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika, a za geokemiju troposfere, posebno je važno uklanjanje nepotpuno oksidiranog organskog ugljika (Kieber i dr., 2002). Površinski aktivne tvari čine značajnu frakciju DOC i imaju važnu ulogu u raznim atmosferskim procesima koji se odražavaju i na klimatske promjene. DOC može stvarati komplekse s metalima u atmosferskim kapljicama, posebno s bakrom, i tako utjecati na kemizam atmosferske vode (Plavšić i dr., 2008).

U ovom radu, u oborinama koje su uzorkovane u centru grada Zagreba određen je stupanj oksidacije organske tvari. U svrhu dodatne karakterizacije otopljenog organskog ugljika, procijenjena je njegova površinski aktivna frakcija i sposobnost kompleksiranja metalnih iona, posebno iona bakra.

2. METODE

Dnevni uzorci oborina uzorkovani su metodom otvorenog uzorkivača (suho i mokro taloženje), u centru grada Zagreba (na terasi Rudarsko-Geološko Naftnog fakulteta), u

periodu od 21.siječnja 2009. do 15. lipnja 2010. godine.

Otopljeni organski ugljik je određen postupkom visoke temperaturne katalitičke oksidacije s instrumentom tvrtke Shimadzu (Japan).

Partikularni organski ugljik određen je postupkom visoke temperaturne katalitičke oksidacije s instrumentom SSM-5000A povezanim sa Shimadzu TOC-V_{CPH} analizatorom ugljika, kalibriranim s glukozom.

Kemijska potrošnja kisika, KPK (Cr) određena je prema normi, DIN 38409 T41: 1980

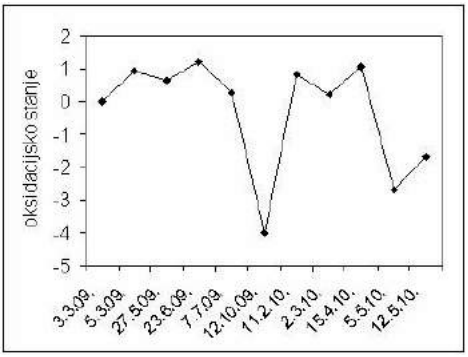
Ukupna površinska aktivnost je određena elektrokemijskom metodom (Ćosović, 1985). Za navedena mjerenja korišten je instrument μ-Autolab povezan sa GPES 4.6 softwarom (ECO-Chemie, Nizozemska).

Kapacitet kompleksiranja za bakar (KKM) je određen metodom voltametrije s anodnim otapanjem (ASV) na instrumentu μ-Autolab (ECO-Chemie, Nizozemska) uz korištenje automatske elektrode VA-663 (Metrohm, Švicarska).

Kiselost uzoraka mjerena je pH metrom, model Metrohm 691.

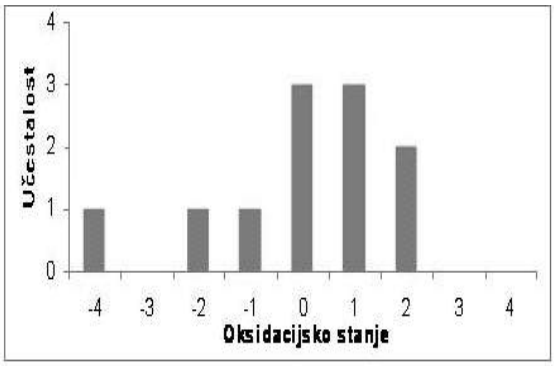
3. REZULTATI I RASPRAVA

U oborina (N = 27) uzorkovanim u centru grada Zagrebu od 21. siječnja 2009. do 15. lipnja 2010. god. provedena je karakterizacija organske tvari. U 11 uzoraka koji pokrivaju cijelo promatrano razdoblje i sve sezone, procijenjeno je oksidacijsko stanje organske tvari (slika 1). Pokazatelji, važni za izračunavanje oksidacijskog stanja, ukupni organski ugljik (TOC), partikularni organski ugljik (POC), otopljeni organski ugljik (DOC) i kemijska potrošnja kisika iz bikromatnog broja (KPK_{Cr}), prikazani su u tablici 1 zajedno s podacima za kapacitet kompleksiranja i kiselost oborina.



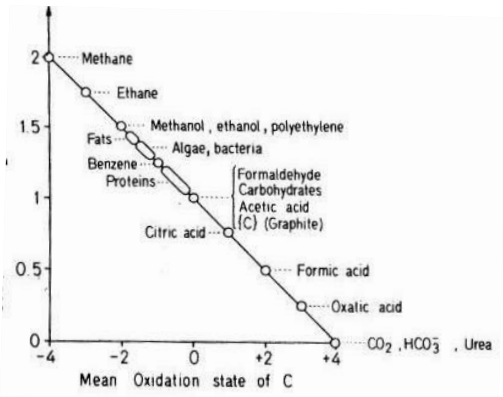
Slika 1. Oksidacijsko stanje organske tvari u uzorcima oborina uzorkovanim u centru grada Zagreba.

Oksidacijski stupanj organske tvari u pravilu može biti u rasponu vrijednosti od +4 do -4 (slika 3). Ako su dobivene vrijednosti manje od -4, tada se one mogu pripisati kemijskoj potrošnji kisika u oksidaciji mineralnih sastojaka u uzorku (Stumm i Morgan, 1996). Većina dobivenih vrijednosti oksidacijskog stupnja organske tvari u istraživanim uzorcima oborina, kretale su se od 0 do +1,2 što ukazuje na prisustnost formaldehida i slabih organskih kiselina (slika 1 i slika 2). Prema literaturnim podacima, u otopljenom organskom ugljiku najviše su zastupljene upravo navedene tvari (Chebbi i Carlie, 1996; Khare



Slika 2. Raspodjela učestalosti oksidacijskih stanja u ispitivanim uzorcima

i dr., 1997; Löflund i dr., 2002), a kao mogući antropogeni izvori u urbanim sredinama, navode se ispušni plinovi motornih vozila. Odstupanje od navedenih vrijednosti pokazala su tri uzorka (6, 10 i 11, tablica 1) s niskim oksidacijskim stanjem od: -4, -2,67 i -1,67. Do velikog sniženja oksidacijskog stupnja može doći zbog unosa mineralnih sastojaka i čestica organskih tvari. Specifičnost uzorka br. 10 je ta da je uzorkovan za vrijeme pojave „žute kiše" koja je sadržavala pijesak pustinjskog podrijetla. Zato je i pH istog uzorka pomaknut prema slabo lužnatom području. U uzorku br. 6, izmjerena je vrlo niska vrijednost otopljenog organskog ugljika od 0,81mg/L i partikularnog organskog ugljika od 0,086, u odnosu na ostale uzorke (tablica1). Međutim, potrebno je naglasiti da su ovo preliminarna istraživanja oksidacijskog stanja organskih tvari u oborinama, pa će svakako u budućem radu, na većem broju uzoraka slika biti jasnija.



Slika 3. Potrošnja kisika i srednja vrijednost oksidacijskog stanja ugljika (Stumm i Morgan, 1996)

Otopljeni organski ugljik predstavljaju organski spojevi koji prolaze kroz stakleni filter veličine pora 0,7 μm dok se partikularni organski ugljik zadržava na filteru. Koncentracije topljivog organskog ugljika, DOC (N = 27) u oborinama varirale su od 0,690 mg/L do 4,864 mg/L. Dobivene vrijednost iako nešto veće, usporedive su s vrijednos-

tima dobivenim u našim ranijim istraživanjima na istoj postaji (od 0,780 mg/L do 3,490 mg/L) (Orlović-Leko i dr., 2004). Značajno povećanje prometa, i izgradnja parkirališta u neposrednoj blizini mjesta uzorkovanja oborina, moglo je utjecati na trend rasta otopljenog organskog ugljika s obzirom da su u urbanim sredinama ispušni plinovi motornih vozila glavni izvor organskih tvari. Velike oscilacije vrijednosti DOC u promatranom razdoblju bez izraženog sezonskog trenda pokazatelj su epizodnih, pojačanih zagađenja zraka.

PAT predstavljaju vrlo reaktivan i važan dio ukupne otopljene organske tvari u prirodnim vodama. Adsorbiraju se na međupovršinama te određuju sudbinu ostalih konstituenata, kao što su teški metali i hidrofobne tvari (ugljikovodici). PAT utječu na topljivost drugih tvari i njihovu akumulaciju te rasprostranjenost na granici faza. PAT predstavljaju značajnu frakciju atmosferskog DOC i imaju važnu ulogu u raznim atmosferskim procesima koji se odražavaju i na klimatske promjene. Relativne koncentracije površinski aktivnih tvar u istraživanim uzorcima (N = 23), kretale su se od 0,028 mg/L eq. Tritona-X-100 do 1,067 mg/L eq. Tritona-X-100. To su nešto veće razine od onih koje su izmjerene desetak godina ranije na istoj postaji (od 0.090 do 0.240 mg/L eq. Tritona-X-100). Nije utvrđena korelacija između vrijednosti DOC i PAT što znači različitu zastupljenost molekula PAT u ukupnoj otopljenoj organskoj tvari.

Kako je vidljivo iz tablice 1, vrijednosti za partikularni organski ugljik, POC kretale su se od 0,042 mg/L do 3,086 mg/L. Prema literaturnim podacima (Capel i dr., 1990), kiša sadrži od 0,2 do 0,5 mg/L POC. Naši uzorci su očito bili opterećeni čestičnim organskim ugljikom što je posljedica metode uzorkovanja otvorenim uzorkivačem.

br. uzorka	Datum uzorkovanja	pH	PAT (mg/L) Eq. T-X-100	L_T $nMCu^{2+}/L$	DOC (mg/L)	POC (mg/L)	KpK (mgO_2/L)
1	3.3.2009. (K)	4,38	0,292	130	3,64	0,593	11,3
2	5.3.2009. (K)	6,3	0,139	66	1,26	0,518	3,6
3	27.5.2009. K	6,74	0,292	-	3,92	2,522	14,4
4	23.6.2009. (K)	4,88	-	82	2,66	0,141	5,25
5	7.7.2009. (K)	4,79	0,119	48	1,64	0,264	5,40
6	12.10.2009. (K)	5,4	0,034	114	0,81	0,086	4,80
7	11.2.2010. (S)	3,9	0,098	370	1,66	0,410	6,70
8	2.3.2010. (K)	4,99	0,029	243	1,29	0,042	1,20
9	14.4.2010. (K)	5,4	0,077	166	2,26	1,461	7,30
10	5.5.2010. (ŽK)	7,25	0,090	131	2,20	3,086	23,5
11	12.5.2010. (K)	4,15	-	-	1,33	0,212	5,80

K-kiša; S-snijeg; ŽK-žuta kiša

Tablica 1. Rezultati ispitivanja pokazatelja u uzorcima oborina sakupljenih tijekom 2009./10. godine u centru grada Zagreba.

Kemijska potrošnja kisika je količina kisika potrebna za razgradnju organske tvari. Predpostavka je da se kemijska potrošnja kisika (KPK) uglavnom odnosi na oksidaciju otopljene organske tvari, a u uzorcima oborina (tablica1) vrijednosti su bile u rasponu od 1,2 mgO_2/L do 23,5 mgO_2/L.

Organske tvari mogu stvarati metalne komplekse u atmosferskim kapljicama, posebno s bakrom i tako utjecati na kemizam atmosferske vode. Kapacitet kompleksiranja (L_T) je količina organske tvari prisutne u uzorku koja može specifično vezati ione bakra. U nefiltriranim uzorcima određeni kapacitet kompleksiranja uključuje i moguću prisutnu partikularnu tvar na koju se ioni bakra mogu vezati. Kapacitet kompleksiranja uzoraka oborina (N = 21) bio je između 29 $nMCu^{2+}$/L i 370 $nMCu^{2+}$/L što može biti posljedica postojanja različitih vrsta organskih liganada u oborinama koji u različitoj mjeri doprinose kompleksiranju bakra.

Korelacija između oksidacijskog stanja organskih tvari i pojedinih istraživanih pokazatelja nije utvrđena.

ZAKLJUČAK

U uzorcima oborina preliminarno je istraženo oksidacijsko stanje organske tvari. Odabrani uzorci (N=11) pokrivali su sve sezone. Redoks stanje je izračunato iz ukupnih parametara koji se često koriste za kvantizaciju organske travi u prirodnim vodama tj., iz ukupnog organskog ugljika, TOC (suma topljivog, DOC i partikularnog organskog ugljika, POC) i kemijske potrošnje kisika iz bikromatnog broja, KPK. Dobivene vrijednosti su bile u širokom opsegu od -4 do +1,2. Na određivanje oksidacijskog stupnja otopljenog ugljika između ostalog, utječe prisutnost mineralnih i organskih čestica koje također u procesu oksidacije troše kisik. Za većinu uzoraka, opseg vrijednosti oksidacijskog stupnja je bio znatno manji (od 0 do +1,2). Navedena oksidacijska stanja predpostavljaju prisutnost formaldehida i organskih kiselina.

Ostali parametri, značajni za karakterizaviju organske tvari, također su razmatrani u ovom radu. Određene su koncentracije otopljenog organskog ugljika, DOC (od 0,69 mg/L – 4,864 mg/L) i partikularnog organskog ugljika, POC (od 0,042 mg/L do 3,086 mg/L); kemijska potrošnja kisika, KPK (od 1,2 mgO_2/L do 23,5 mgO_2/L), relativna koncentracija površinski aktivnih tvari, PAT (od 0,028 mg/L eq. Tritona-X-100 od 1,067 mg/L eq. Tritona-X-100) i kapacitet kompleksiranja, L_T (29 $nMCu^{2+}$/L do 370 $nMCu^{2+}$/L).

Korelacijskom analizom nisu utvrđene statistički značajne korelacije između oksidacijksog stupnja organske tvarih i pojedinih razmatranih parametara.

ZAHVALE

Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta (“Priroda organske tvari, interakcije s mikrokonstituentima i površinama u okolišu”), uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

LITERATURA

[1] Brimblecombe P., 1996 Air Composition and Chemistry, 2. izdanje, Cambridge environmental cemistry series / 6. str. 17.

[2] Capel, P. D., Gunde, R., Zurcher, F. and Giger, W.: 1990: Carbon speciation and surface tension of fog, Environ. Sci. Technol. 24, 722–727.

[3] Chebbi, A. and Carlie, P.: 1996, Carboxylic acid in the troposphere, occurrence, source, and sinks: a review, Atmos. Environ. 30, 4233–4249.

[4] Ćosović, B., 1985: Aqueous surface chemistry: assessment of adsorption characteristics of organic solutes by electrochemical methods. In: Stumm, W.(Ed.), Chemical Processes in Lakes. John Wiley & Sons, New York, 55–80

[5] Khare, P., Satsangi, G. S., Kumar, N., Kumari, K. M. and Srivastava, S. S., 1997: HCHO, HCOOH and CH3COOH in air and rainwater at a rural tropical site in North Central India, Atmos. Environ. 31, 3867–3875.

[6] Kieber, RJ, Peake, B, Willey, JD, Avery, GB., 2002.: Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater, Atmosph. Environ. 36, 3557-3563.

[7] Löflund, M., Kasper-Giebl, A., Schuster, B., Giebl, H., Hitzenberger, R, Puxbaum, H., 2002 : .Formic, acetic, oxalic, malonic and succinic acid concentrations and their contribution to organic carbon in cloud water. Atmos. Environ. 36, 1553-1558,

[8] Orlović-Leko, P., Kozarac, Z. Ćosović, B, 2004.: Surface active substances (SAS) and dissolved organic matter (DOC) in atmospheric precipitation of urban area of Croatia (Zagreb). Water, Air and Soil Pollutio.158 (1), 295-310,

[9] Orlović-Leko, P.,Plavšić M., Bura-Nakić, E., Kozarac, Z; Ćosović, B. 2009 : Organic matter in the bulk precipitations in Zagreb and Šibenik Croatia. Atmospheric Environment 43, 805-811.

[10] Plavšić M., Orlović-Leko, P., Kozarac, Z; Bura-Nakić, E.; Strmečki, S; Ćosović, B., 2008 : Complexation of copper ions in atmospheric precipitations in Croatia. Atmospheric Research 87, 80-87.

[11] Stumm W., Morgan J.J., 1996. Aquatic Chemistry, 3. izdanje, Wiley, New York. str. 1022

AUTORI

Dr. sc. Palma Orlović-Leko[1]
Slađana Strmečki, dipl.ing.[2]
Jelena Dautović, dipl.ing.[2]
Mia Malinarić, dipl. ing.[2]
dr.sc. Zlatica Kozarac[2]
dr.sc. Božena Ćosović[2]
dr.sc. Marta Plavšić[2]

1 Rudarsko-Geološko-Naftni fakultet u Zagrebu, 10 000 Zagreb
Pierottijeva 6, Hrvatska, tel. + 385 1 46 05 158, e-mail: paorleko@rgn.hr

2 Institut "Ruđer Bošković", Zavod za istraživanje mora i okoliša
Bijenička 54, 10 002 Zagreb, Hrvatska, tel. + 385 1 45 61 105,
e-mail: kozarac@irb.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.12.

MIKROBIOLOŠKA ANALIZA KIŠNICE U PRIMORSKO-GORANSKOJ ŽUPANIJI

Nikolina Kovačević, Nikolina Furlan, Danica Rebić, Željko Linšak, Ivana Gobin

SAŽETAK: Oborinske vode u Primorsko-goranskoj županiji tradicionalno se skupljaju u cisternama odnosno šternama. Iako prirodno destilirana voda, kišnica može sadržavati brojna atmosferska onečišćenja i mikroorganizme. Stoga, korištenje kontaminirane kišnice može predstavljati rizik po zdravlje ljudi. Cilj rada bio je utvrditi stanje cisterni na području Primorsko-goranske županije.

U radu su ispitani indikatori fekalnog zagađenja vode (ukupne koliformne bakterije, fekalne koliformne bakterije i fekalni streptokoki), ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija pri 22°C i 37°C te popratna mikrobiološka flora. Analizirana je voda iz 20 cisterni koje se aktivno koriste. Kako bi dobili uvid u stanje nakapne plohe i cisterne, korisnici su ispunjavali anketu, kojom je obuhvaćeno stanje nakapne plohe i žljebova, način uporabe, materijal izrade te položaj i kapacitet spremnika za vodu.

Rezultati ispitivanja pokazuju da je 75% analiziranih uzoraka kišnice mikrobiološki neispravno. Od popratne flore u ispitanim uzorcima dokazane su bakterije iz rodova Bacillus, Pseudomonas, Staphylococcus i Aeromonas. Većina ispitanika (60%) je stanje nakapne plohe ocijenilo kao loše i to većinom zbog starih neodržavanih crijepova.

Ova studija ukazuje na potrebu povećavanja svjesnosti stanovništva o mogućim rizicima vezanim uz konzumaciju mikrobiološki neispravne vode. Korisnike bi trebalo educirati kako sanirati, a zatim i pravilno održavati postojeće cisterne te o važnosti redovite kontrole mikrobiološke kakvoće vode.

KLJUČNE RIJEČI: cisterna, kišnica, mikrobiološka ispravnost, popratna mikrobiološka flora

MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF RAINWATER IN PRIMORSKO –GORANSKA COUNTY

SUMMARY: In Primorska-Gorska County the rainwater has traditionally been collected in a cistern or water tank. Although naturally distilled water, rain water can contain a number of atmospheric pollutants and microorganisms. The aim of this study was to determine the condition of rainwater in a tanks.

Microbiological safety of 20 water samples from selected tanks was analyzed. The indicators of fecal contamination of water, the total number of aerobic bacteria at 22° C and 37° C and the accompanying microbial flora were examined. To get an insight into the catchment area and tanks, users filled out the survey, which included state of catchment area, method of use, the material and capacity of the water tank.

The results showed that of the 20 samples, 75% samples were microbiologically incorrect. The microbial flora included bactera from the genus *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* and *Aeromonas*. Most respondents (60%) rated the catchment area or roof surface as poor.

The obtained results indicated the need to increase awareness of population about the potential risks associated with drinking contaminated water. Users should be educated in order to restore, and then properly maintain the existing tanks and the importance of regular control of microbiological quality of water.

KEY WORDS: microbiological safety, microbial flora, water tanks, rainwater

1. UVOD

Kroz povijest čovjek je koristio vodu iz različitih izvora, no jedan od značajnijih izvora pitke vode bilo je prikupljanje oborinske vode. U krškim djelovima Hrvatske kišnica se skupljala na tradicionalan način pomoću nakapnih plohi i cisterni za vodu. Cisterne su se izvodile se na jednostavan način, tako da osiguravaju zdravstveno ispravnu vodu za piće (Munić, D., 2004.; Margeta, J., 1998.). Razvojem vodoopskrbe i povezivanjem kućanstva na javni vodovod, cisterne su izgubile svoju primarnu zadaću, te se danas većinom koriste kao alternativni izvor vode u slučaju nestašice, zagađenja ili nedostupnosti javne vodoopskrbe. Cilj ovog rada bio je analizirati mikrobiološku ispravnost oborinskih voda iz cisterni na području Primorsko-goranske županije.

2. TEKST RADA

Danas šterne gube svoju osnovnu funkciju, te se najčešće upotrebljavaju za zalijevanje zelenih površina i vrtova ili kao sanitarne vode. Sustavna kontrola tih individualnih vodoopskrbnih objekata vrlo je važna iz nekoliko razloga. Prvenstveno kontrola individualnih vodoopskrbnih objekata zakonski je vrlo slabo regulirana, te se većina objekata koristi bez prethodnih analiza. Također većina tih objekata izgrađena je pred više desetaka godina, te se danas koriste kao ostavština kod starina i kuća za odmor. Upravo iz tih razloga oborinska voda je potencijalni zdravstveni rizik.

Od veljače do travnja 2010. godine uzorkovano je 20 uzoraka vode iz cisterni sa područja Primorsko-goranske županije. Uzorkovane cisterne morale su zadovoljavati nekoliko kriterija: voda se morala aktivno upotrebljavati za piće ili sanitarne potrebe i voda nije smjela biti tretirana nikakvim kemijskim sredstvima najmanje 1 godinu

Uzorkovanje se provodilo pomoću sterilnih staklenih boca od 1 litre na način na koji korisnici sami upotrebljavaju vodu, bilo da je direktno s vodnog lica ili preko slavine. (Tablica 1.) Svi uzorci su analizirani unutar 24 sata te su do trenutka analize bili adekvatno pohranjeni. U vodama iz cisterni su analizirani slijedeći mikrobiološki parametri: broj kolonija na 22°C i 37°C, fekalni koliformi i streptokoki te ukupni koliformi. Za određivanje popratane mikrobiološke flore korišteni su krvni agar i krvni agar s ampicili-

nom. Za identifikaciju izoliranih bakterija koristili su se potvrdni biokemijski testovi (koagulaza, katalaza i oksidaza) te API testovi. Kako bi dobili uvid u stanje nakapne plohe i cisterne, korisnici su ispunjavali anketu, kojom je obuhvaćeno stanje nakapne plohe i žljebova, način uporabe, materijal izrade te položaj i kapacitet spremnika za vodu.

UZORAK	MJESTO	NAČIN UZORKOVANJA
Uzorak 1	Podhum	Slavina
Uzorak 2	Saršoni	Šterna
Uzorak 3	Drenova	Šterna
Uzorak 4	Dražice	Šterna
Uzorak 5	Podhum	Šterna
Uzorak 6	Podčudnić	Šterna
Uzorak 7	Viškovo	Šterna
Uzorak 8	Hreljin	Šterna
Uzorak 9	Zastenice	Slavina
Uzorak 10	Jelenje	Slavina
Uzorak 11	Kovačevo	Šterna
Uzorak 12	Cernik	Šterna
Uzorak 13	Podčudnić	Slavina
Uzorak 14	Zastenice	Slavina
Uzorak 15	Podhum	Šterna
Uzorak 16	Kukuljanovo	Šterna
Uzorak 17	Dražice	Šterna
Uzorak 18	Kikovica	Šterna
Uzorak 19	Podhum	Šterna
Uzorak 20	Šmrika	Šterna

Tablica 1. Mjesto i način uzorkovanja vode iz cisterni na području Primorsko-goranske županije. Oznaka „šterna“ znači da je uzorak uzet kroz grlo cisterne sa slobodnog vodnog lica.

2.1. Mikrobiologija voda iz cisterni za čuvanje kišnice

Mikrobna populacija u vodenom okolišu ovisi o fizičkim i kemijskim faktorima, uključujući hidrostatski tlak, svjetlo, pH, koncentraciju soli i temperaturu. Mikroorganizmi koji su dio fiziološke populacije voda, dolaze iz prirodnih izvora kao što su zrak i zemlja ili iz različitih djelatnosti koje provodi čovjek. Veliki broj mikroorganizama u vodi ukazuje na prisutnost velike količine nutrijenata **(**Duraković S., 2002.**)**. U nekontaminiranim vodama najčešće nalazimo kvasce i spore plijesni, kao i spore bakterija iz rodova *Bacillus* i *Clostridium*, koji u vodu dospijevaju iz zraka. Glavnu skupinu bakterija u kontaminiranoj vodi čine koliformne bakterije. Od patogenih mikroorganizma koje nalazimo u oborinskim vodama važno je spomenuti bakterije *Campylobacter* i *Salmonella spp*. Oportunistički patogeni poput *Pseudomonas aeruginosa, Mycobacterium spp., Aeromonas spp.,* te *Legionella pneumophilia* također se mogu naći u prikupljenim oborinskim vodama, te ukoliko se stvore povoljni uvjeti mogu izazvati različite hidrične bolesti (Winward G.P., 2007.).

Rezultati su pokazali da je čak 75% uzorkovanih cisterni mikrobiološki neispravno (Tablica 2.). Od 20 analiziranih čak 65% neispravnih uzoraka, uz jedan od drugih parametra, ne zadovoljava maksimalno dozvoljenu vrijednost za broj bakterija pri 22°C i 37°C.

PARAMETAR	MJERNA JEDINICA	DOZVOLJENA VRIJEDNOST	BROJ UZORAKA	BROJ NEISPRAVNIH UZORAKA	POSTOTAK NEISPRAVNIH UZORAKA
Ukupni koliformi	broj/100 ml	0	20	11	55 %
Fekalni koliformi	broj/100 ml	0	20	7	35 %
Fekalni streptokoki	broj/100 ml	0	20	6	30 %
UBK 37°C	broj/1 ml	20	20	15	75 %
UBK 22°C	broj/1 ml	100	20	13	65 %

Tablica 2. Rezultati analiza vode iz cisterni na području Primorsko-goranske županije. Analizirano je 20 uzoraka na ukupno pet različitih parametara. Da bi uzorak bio mikrobiološki ispravan, morao je zadovoljiti dozvoljene vrijednosti za sve parametare. U zadnjem stupcu su prikazani zadani parametri s ukupnim postotcima nesipravnih uzoraka.

U ranije provedenoj studiji dokazan je visok postotak mikrobiološki neispravnih voda iz cisterni (66%) (Furlan i drugi, 2010.). Slične studije također su dokazale visok postotak zdravstveno neispravnih cisterni. Tako je u istraživanju provedenom na Visu od 9 ispitanih cisterni niti jedna ne zadovoljava zadane mikrobiološke parametre (Senta, A, 2006.**)**. U ispitanim uzorcima pronađene su koliformne bakterije, fekalne koliformne bakterije, a u sedam uzoraka i enterokoki. Upravo iz tog razloga provedeno je dokazivanje i indentifikacija popratne mikrobiološke flore u ispitanim vodama. U svim ispitanim uzorcima dokazane su bakterije iz roda *Bacillus*. Osim bacilusa, u pojedinim uzorcima dokazane su i *Pseudomonas* spp., *Staphylococcus* spp., i *Aeromonas* spp.

2.2. Zahvat oborinske vode

Zahvat oborinskih voda uvjetuju prirodni procesi poput količine padalina, razina otjecanja nekom površinom, te sama akumulacija oborinske vode.

Kod zahvata oborinske vode razlikujemo dva osnovna elementa, nakapnu plohu i cisternu. Nakapna (slivna, sabirna) površina je najvažniji dio cisterne, koji utječe na kvalitetu vode. S obzirom na namjenu nakapne plohe kao elementa opskrbe vodom u sustavu cisterne, ona mora osiguravati kakvoću vode koja na nju padne u obliku oborine i koja njome otječe, dok bi tehnologija izvedbe trebala osigurati nepropusnost plohe.

Kod pojedinih potrošača kao nakapne plohe koriste se površine krovova kuća i gospodarskih zgrada. Svaka nakapna ploha mora biti izražena u padu, tako da se omogući slobodno otjecanje vode prema cisterni te da se lakše izvrši uljev u samu cisternu. Na najnižoj točki nakapne površine radi se predfiltar od tucanika, koji zadržava grube nečistoće.

Odvodne cijevi odvode vodu s nakapne površine do cisterne/vodospreme. Cijevi se grade slično kao kod vodovoda, a od materijala se koristi lijevano željezo, azbest-beton ili različiti plastični materijali. Sam rezervoar cisterne može se smjestiti iznad ili ispod zemlje (Slika 1.). Kroz povijest cisterna se češće smještala ispod zemlje zbog zadržavanja ravnomjerne temperature vode (hladna voda) (Gulić, I., 2000.)

Slika 1. Cisterne za sakupljanje kišnice na području Primorsko-Goranske županije. Sve tri prikazane cisterne imaju rezervoare ispod razine zemlje te betonski salivena grla za prihvaćanje vode.

Rezultati provedenih anketa pokazali su da jednu cisternu prosječno koristi šestero ljudi. Međutim, u pojedinim slučajevima voda se koristi za različite potrebe, kao npr. voda iz šterne uzorka 8 koja se upotrebljava za vatrogasne potrebe i potrebe planinara. Stanje nakapne plohe tj. krova korisnici su mogli podijeliti u tri kategorije, te je tako čak 60% ispitanika stanje svog krova ocijenilo kao loše, i to većinom zbog starih neodržavanih crijepova, dok je u jednom slučaju krov još uvijek prekriven azbestnim pločama. Žljebovi su također ocijenjeni u tri kategorije, gdje je opet 60% ispitanika svoje žljebove ocijenilo kao loše, dok 25% ispitanika misli da su žljebovi u vrlo dobrom stanju. Kod svih ispitanika zaštićen je ulaz u cisternu s vodom, te je kod nekih ugrađen i filter od aktivnog ugljena i šljunka (Uzorak 7). U svih 10 ispitanih cisterni postoji mogućnost zahvaćanja preko slobodnog vodnog lica, dok njih 55% ima i dodatnu slavinu preko koje upotrebljavaju sakupljenu kišnicu.

Anketno pitanje	**Rezultat**
Prosječan broj korisnika	6
Stanje nakapne plohe:	
Vrlo dobro	15%
Dobro	25%
Loše	60%
Stanje žljebova:	
Vrlo dobro	25%
Dobro	15%
Loše	60%
Zaštita na ulazu u spremnik	100%
Način uprabe:	
Slobodno vodno lice	100%
Slavina	55%
Materijal izrade:	
Beton	80%
Kamen/žbuka	20%
Položaj spremnika za vodu:	
Ispod zemlje	80%
Iznad zemlje	20%
Kapacitet spremnika za vodu	30-100 m^3

Tablica 3. Rezultati anketa provedenih tijekom uzorkovanja voda iz cisterni. Svaki korisnik je samostalno ocijenio stanje svoje nakapne plohe i cisterne. Objektivnost se nastojala postići izborom više ponuđenih kategorija, od kojih je svaka usmeno prezentirana korisniku.

Sve slavine na sebi imaju ugrađene mehaničke filtere od sitne mrežice. Kapacitet spremnika varira između 30 m^3 pa sve do 100 m^3, s tim da pojedini korisnici nisu u potpunosti bili sigurni u dimenzije spremnika.

ZAKLJUČAK

Rezultati ove mikrobiološke analize ukazuju na potrebu povećavanja svjesnosti o mogućim rizicima vezanim uz konzumaciju mikrobiološki neispravne vode.

Da bi se postiglo zadovoljavajuće stanje na terenu važno je potaknuti edukaciju stanovništva, usmjeriti ih na pravilno održavanje cisterni, saniranje nakapnih ploha, mogućnost izvedbe odvodnje prvih kiša nakon sušnog razdoblja, te naposljetku na redovitu kontrolu mikrobiološke kakvoće vode.

LITERATURA

[1] Duraković S., Delaš F., Duraković L. (2002): *Moderna mikrobiologija namirnica*, knjiga druga, Kugler, Zagreb, 89-177

[2] Furlan, N., Kovačević, N., Linšak, Ž., Pružinec Popović, B., i Gobin, I., (2010.): *Mikrobiološka analiza voda u cisternama (šternama) u Primorsko-goranskoj Županiji*, 11. Stručni sastanak laboratorija ovlaštenih za ispitivanje voda, Zbornik radova, Milinović, M. Tiskara Venerus, Rijeka, 87-90.

[3] Gulić, I. (2000): *Opskrba vodom*, HSGI, Zagreb, 104-138

[4] Munić, D. (2004): *Kastavske šterne*, Zbornik Kastavštine, Grad Kastav, Kastav, 12; 193-196

[5] Margeta, J. (1998): *Kućne cisterne*, Građevinar. 50, 10; 587-599

[6] Senta, A., Marijanović Rajčić, M., Janev-Holcer, N., Mustajbegović, J. (2006): *Kakvoća oborinske vode u viškim cisternama*, Voda i javna vodoopskrba, Zagreb : Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 147-156

[7] Winward, G.P. (2007): *Disinfection of grey water*, Thesis or dissertation, Cranfield University

AUTORI

Nikolina Kovačević, mag.san.ing.[a]
mr. sc. Nikolina Furlan [b]
Danica Rebić [a]
mr. sc. Željko Linšak [b]
dr. sc. Ivana Gobin [a]

[a] Zavod za mikrobiologiju i parazitologiju, Medicinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Braće Branchetta 20, Rijeka, 51 000, Hrvatska, nikolinak.ri@gmail.com, danica.rebic@hotmail.com, gobiniv@medri.hr

[b] Odjel zdravstvene ekologije, Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Krešimirova 52a, 51 000 Rijeka, nikolinafurlan@yahoo.com, zeljko.linsak@zzjzpgz.hr

R 1.13.

PROCJENA RIZIKA OD POPLAVA NA SLIVU RIJEKE SAVE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Arijana Senić, Lidija Kratofil, Vesna Tusić, Dražen Budišić

SAŽETAK: U radu je dan kratki osvrt na procjenu rizika od poplava, u skladu sa zahtjevima i smjernicama europske Direktive o poplavama.

Republika Hrvatska je, kao skora članica Europske unije, smjernice Direktive o poplavama uklopila u svoje zakonodavstvo, te ih postupno uvodi i u provedbenu praksu u pristupu rješavanju problema zaštite od poplava. Prikazano je stanje u procjeni rizika od poplave na slivu rijeke Save u odnosu na zahtjeve europske Direktive o poplavama, sadržaj napravljenih studija procjene rizika od poplava, poteškoće u definiranju rizika od poplava u smislu potrebnih podloga i analiza. Dan je osvrt na utjecaj klimatskih promjena na povećanje rizika od poplava na slivu rijeke Save i pojavu ekstremnih poplavnih događaja.

Na kraju su dane smjernice za unapređenje procjene rizika od poplava na slivu rijeke Save u cilju usklađenja sa zahtjevima europske Direktive o poplavama.

KLJUČNE RIJEČI: Procjena rizika od poplava, Sliv Save, Klimatske promjene

FLOOD RISK ASSESSMENT IN THE SAVA RIVER BASIN IN CROATIA

SUMMARY: The paper gives an overview of flood risk assessment in accordance with the requirements and guidelines of the EU Floods Directive.

As a future EU Member State, the Republic of Croatia has transposed the requirements of the Floods Directive into its legislation and is gradually implementing them in practice in its approach to addressing flood protection problems.The paper presents the status in the assessment of flood risks in the Sava River basin with regard to the requirements of the EU Floods Directive, the contents of prepared studies on flood risk assessment, and difficulties in defining flood risks in terms of the required data and analyses. The paper refers to the impact of climate change on increased flood risks in the Sava River basin and occurrence of extreme flood events.

Finally, the paper gives guidelines for improving the assessment of flood risks in the Sava River basin aimed at harmonization with the requirements of the Floods Directive.

KEYWORDS: Flood risk assessment, Sava river basin, Climate change

1. UVOD

U Europskoj Uniji je od 2007. godine na snazi Direktiva o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima *(Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007. on the assessment and management of flood risks)* koja zemlje članice obvezuje izvršiti preliminarnu procjenu poplavnih rizika do kraja 2011. godine kojom na osnovu lako dostupnih informacija i postojećih studija treba prikazati granice slivova, korištenje zemljišta, značajne zabilježene poplave u prošlosti, procjeniti moguće štetne posljedice budućih poplava i učinak klimatskih promjena.

Na osnovu provedene preliminarne analize potrebno je definirati područja za koja postoje značajni rizici od poplava i za koja će se za različite poplavne scenarije izraditi karte opasnosti i karte rizika od poplava do kraja 2013. godine. Na temelju takvih karata potrebno je do kraja 2015. godine izraditi planove upravljanja rizicima od poplava na razini vodnog područja.

U radu je analizirano stanje u procjeni rizika od poplava na slivu rijeke Save i prikazan je sadržaj izrađenih studija procjene rizika od poplava naručenih u Hrvatskim vodama, VGO-u Sava.

2. IZVRŠENE PROCJENE RIZIKA

Republika Hrvatska je, kao skora članica Europske Unije, smjernice Direktive o poplavama uklopila u svoje zakonodavstvo te ih postupno uvodi i u provedbenu praksu u pristupu rješavanju problema zaštite od poplava.

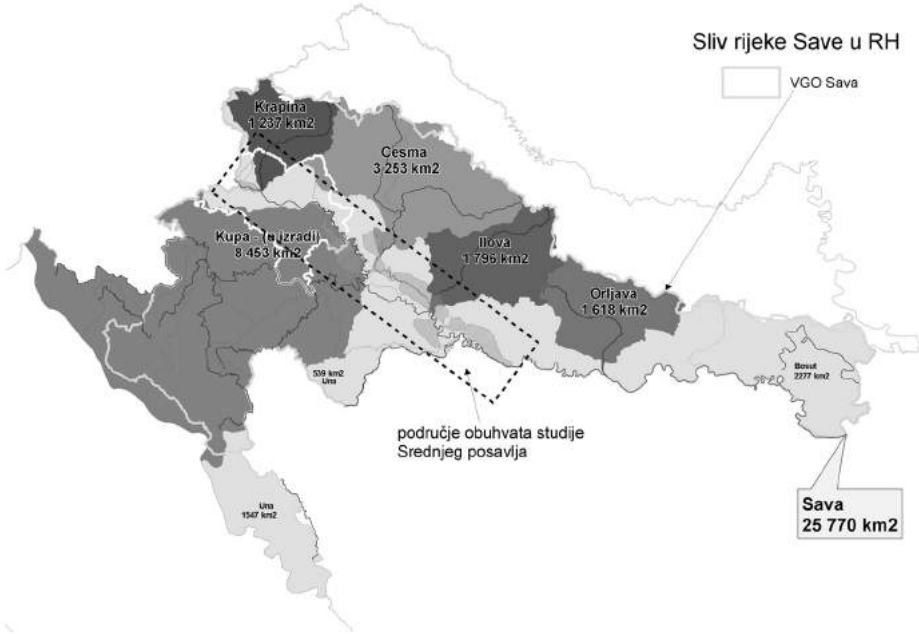
I prije stupanja na snagu Direktive o poplavama, tijekom 2003. i 2004. godine Hrvatske vode su na području sliva Save pokrenule izradu studija rizika od poplava za sliv Orljave i sliv Krapine (slika 1).

Početkom 2011. god. završene su studije procjene rizika od poplava na slivu Česme i Ilove, a u tijeku je procjena rizika od poplava na slivu Kupe.

Do kraja 2011. god. planira se izvršiti preliminarna procjena rizika za preostali dio sliva rijeke Save na području VGO-a Sava.

Izrađen je i matematički simulacijski model Srednjeg posavlja koji može poslužiti kao dobra podloga za procjenu rizika od poplave na području obuhvata, a moguće je i proširenje i na nizvodne dionice Save.

Za sliv Save ne postoje izrađene studije o klimatskim promjenama te stoga niti učinci klimatskih promjena na pojavu poplava nisu uzeti u razmatranje.

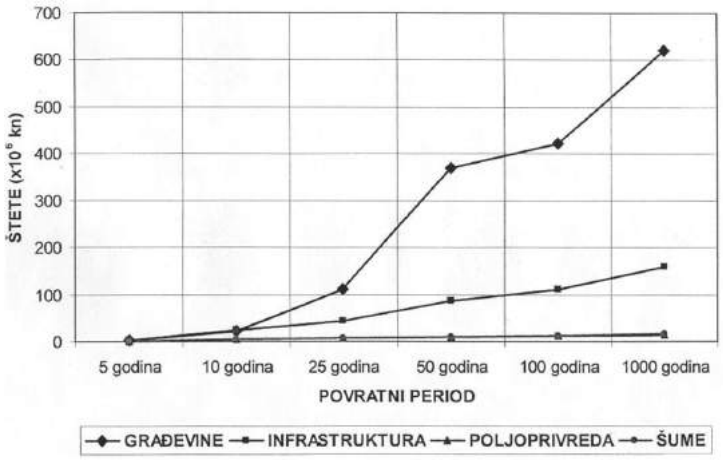


Slika 1. Dijelovi sliva rijeke Save na kojima su izrađene studije procjene rizika od poplava ili su trenutno u tijeku

2.1. Sadržaj izrađenih studija

Općenito, izrađene studije rizika od poplava obuhvatile su sljedeće osnovne obrade:

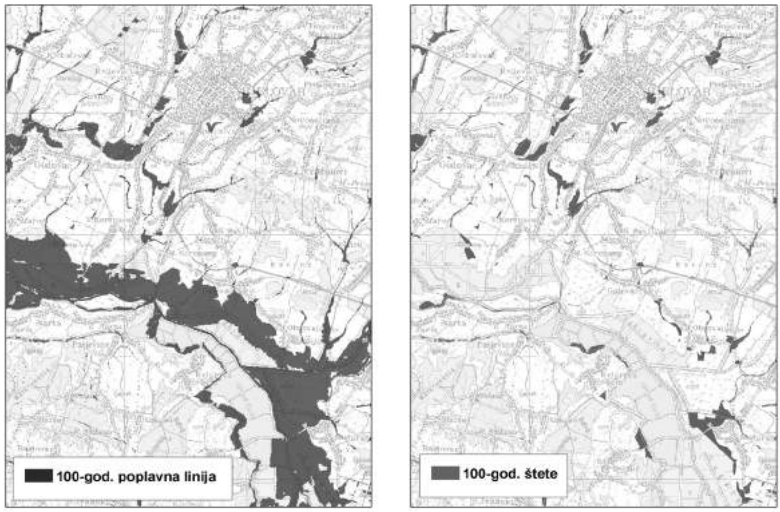
- prikaz dosad zabilježenih poplava i procjenu njihovih uzroka,
- prikaz korištenja zemljišta,
- hidrološku analizu i hidrauličko modeliranje (1D),
- kartografske prikaze poplavnih površina 5, 10, 25, 50, 100 i 1000-godišnjeg povratnog razdoblja i
- okvirnu procjenu šteta na slivu za analizirane scenarije poplavnih događaja (slika 2).



Slika 2. Grafički prikaz rezultata procjene direktnih šteta prema vrsti dobara i povratnom razdoblju poplavljivanja na slivu Orljave (Rizici od poplava na slivu Orljave, VPB, 2003.)

U studiji „*Rizici od poplava na slivu Česme" (Hidrokonzalt, 2009.)* priloženi su, osim navedenog, i:

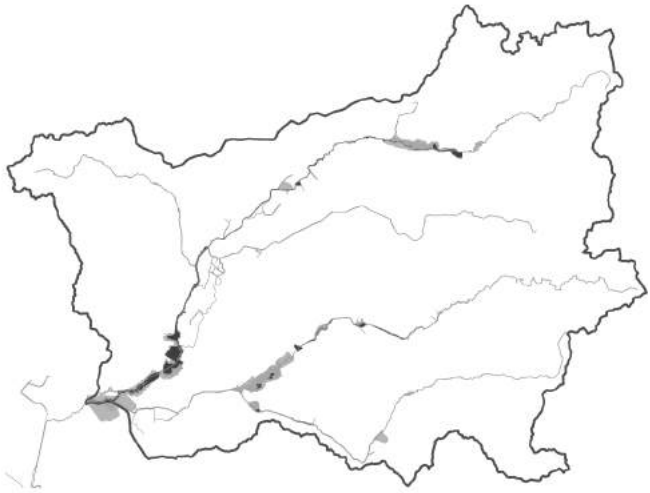
- kartografski prikazi dubina 5, 10, 25, 50, 100 i 1000-godišnjih poplavnih voda,
- kartografski prikazi šteta od 5, 10, 25, 50, 100 i 1000-godišnjih poplavnih voda (slika 3),
- kartografski prikazi prosječnih godišnjih šteta na slivu (rizik od poplava).



Slika 3. Usporedni prikaz poplavne linije 100-godišnjeg povratnog razdoblja i pripadajućih šteta, područje grada Bjelovara i ribnjaka Narta na slivu Česme

U studiji *"Procjena rizika od poplava na slivu Ilove" (IGH, 2011.*) priloženo je, osim uvodno navedenog, i sljedeće:

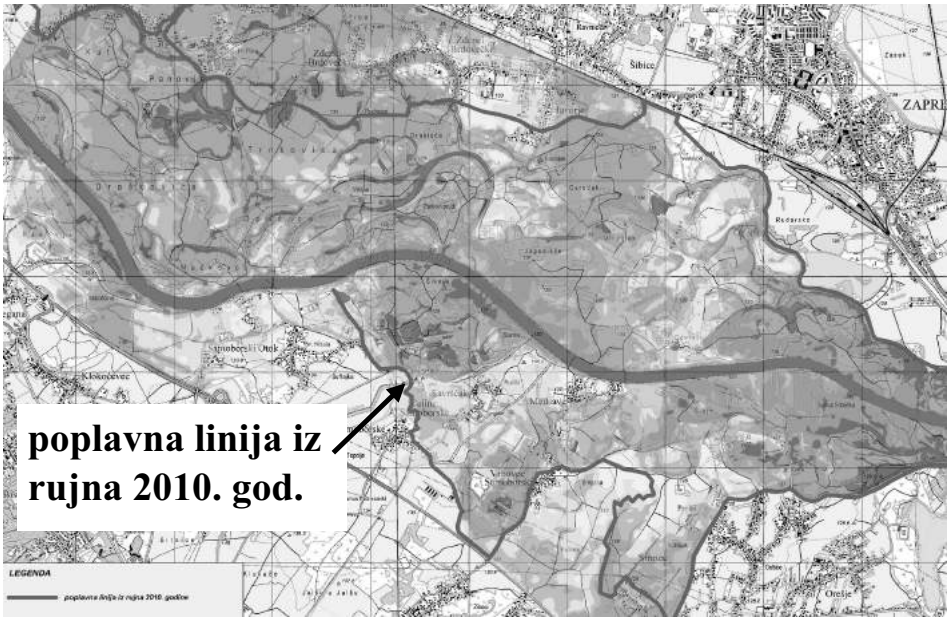
- kartografski prikaz poplavnih površina 5, 10, 25, 50, 100 i 1000-godišnjeg povratnog razdoblja sa dubinom i brzinom vode u pojedinim stacionažama vodotoka (slika 4),
- okvirna procjena poplavnih rizika na slivu.



Slika 4. Usporedni prikaz poplavnih linija za velike vode 10, 100 i 1000 godišnjeg povratnog perioda na slivu Ilove

Izrađene studije su dale preliminarnu procjenu poplavnih rizika u skladu sa zahtjevima Direktive o poplavama i prikazale granice slivova s topografijom i korištenjem zemljišta, opisale značajnije poplave u prošlosti za koje su postojali zapisi i procjenile moguće štetne posljedice budućih poplava.

U okviru studije *„Sustav obrane od poplava Srednjeg posavlja - aktualizacija rješenja" (VPB, 2010.),* izrađen je matematički simulacijski model Srednjeg posavlja. Modelirano područje pokriva površinu od oko 2700 km^2. Modelom je simuliran rad sustava „Srednje posavlje" kod različitih slučajeva generiranja velikovodnih valova i kod različitih povratnih razdoblja (2, 5, 10, 25, 50, 100 i 1000-god). Na temelju rezultata simulacije analizirana je učinkovitost i sigurnost postojećeg sustava zaštite od poplava pri velikim vodama različitog povratnog razdoblja te su prezentirane njegove kritične dionice. Za neizgrađeni dio sustava (dionica Save od Podsuseda do Jesenica) prikazane su površine koje se plave kad Sava izađe, kao i dubine poplavnih voda (slika 5).



Slika 5. Poplavne površine i dubine plavljenja kod 100-godišnje velike vode Save na dionici Podsused-Jesenice s ucrtanom poplavnom linijom vodnog vala u rujnu 2010. godine

Matematički model Srednjeg posavlja postavljen je tako da, uz manje intervencije, može poslužiti za provedbu analize rizika od poplave na području obuhvata, ali je moguće i proširenje i na nizvodne dionice Save.

Obzirom da se radi o slivu međunarodnog karaktera, u sklopu Međunarodne Komisije za sliv rijeke Save (ISRBC), čija je članica i Hrvatska zajedno sa Slovenijom, Bosnom i Hercegovinom i Srbijom, pokrenuta je izrada hidrauličkog modela rijeke Save kao predkorak za preliminarnu procjenu rizika od poplava, pripremu karata opasnosti i rizika od poplava i izradu plana upravljanja rizikom od poplava na slivu rijeke Save.

2.2. Poteškoće u izradi studija rizika od poplava

Glavne poteškoće prilikom izrade studija rizika od poplava na koje su nailazili izrađivači bile su sljedeće:

- nedostatak podataka o opisu značajnih poplava u prošlosti i njihovim posljedicama,
- mali broj snimljenih poprečnih profila vodotoka, nedovoljna točnost digitalnog modela terena te s tim u vezi ograničene mogućnosti izrade hidrauličkih modela,
- nedovoljan broj hidroloških postaja sa dovoljno dugačkim nizovima kvalitetnih podataka, pogotovo o protocima,
- nedovoljan broj meteoroloških postaja i nedostupnost podataka o kratkotrajnim kišnim intervalima za hidrološko modeliranje,
- nedovoljna točnost podataka o korištenju zemljišta i nemogućnost preciznijeg defi-

niranja vrijednosti i značaja pojedinih objekata, o čemu će se morati voditi računa prilikom izrade detaljnih karata opasnosti i karata rizika za ona područja za koja se smatra da postoje značajni rizici od poplava.

Za potrebe izrade studije *„Sustav obrane od poplava Srednjeg posavlja - aktualizacija rješenja" (VPB, 2010.)* prethodno su već prikupljeni i sistematizirani geodetski i prostorni podaci i napravljene su sve potrebne hidrološke obrade i analize.

3. POPLAVNI RIZICI I KLIMATSKE PROMJENE

U Direktivi o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima i u vodičima i smjernicama Europske Unije prepoznat je problem klimatskih promjena koje će najvjerojatnije postati značajne u drugoj polovici 21. stoljeća, pozivajući se na modele koji pokazuju velike promjene u godišnjim i sezonskim oborinama, otjecanju i rizicima od poplava. Općenito, prisutan je trend osušenja u južnoj Europi i trend vlaženja u sjevernoj Europi, sa specifičnostima po pojedinim područjima.

Isto tako, u smjernicama Europske Komisije vezanim za klimatske promjene, navodi se da u Europi nije utvrđena direktna veza između klimatskih promjena i pojave velikih voda koje su uzrokovale poplave. Iako se konstatira da je u zadnje vrijeme porasla učestalost plavljenja od pojedinih europskih rijeka, jer je u razdoblju 1981. - 2000. registrirano dvostruko više maksimalnih protoka nego u razdoblju od 1961. - 1980., priznaje se da je teško definirati dugoročne trendove hidroloških veličina, čemu u prilog ide i sveprisutna promjena u korištenju zemljišta kao i način vodnogospodarskog upravljanja koja ima veliki utjecaj na pojavu poplava.

S druge strane, smatra se da predviđene promjene u intenzitetu i učestalosti ekstremnih oborina mogu utjecati na rizike od poplava i da utjecaj klimatskih promjena na vjerojatnost pojave poplava treba razmatrati detaljnije na razini sliva.

Prema „Petom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)", DHMZ-a iz 2009. godine, u Republici Hrvatskoj:

- „Trend godišnjih količina oborine pokazuje njihovo smanjenje tijekom 20. stoljeća na cijelom području Hrvatske, čime se ono pridružuje tendenciji osušenja na Mediteranu.",
- „...ne postoji signal velikih promjena u ekstremima koji se odnose na velike količine oborine i učestalost vlažnih i vrlo vlažnih dana u većem dijelu Hrvatske, već doprinos smanjenju godišnjih količina oborine daju promjene u učestalosti kišnih dana manjeg intenziteta i značajno povećana učestalost suhih dana u cijeloj Hrvatskoj.",
- „Smanjenje ukupne količine oborine očekuje se u većem dijelu godine, prvenstveno u primorskom dijelu Hrvatske i neposrednom zaleđu.... U zimi bi došlo do manjeg povećanja oborine, ponovno u uskom primorskom pojasu, ali to povećanje nije statistički signifikantno. U sjevernoj Hrvatskoj ne očekuje se značajnija promjena oborine u budućoj klimi.".

Navedeni zaključci rezultat su integracija regionalnog klimatskog modela RegCM i analizirani su za sve sezone iz dva 30-godišnja razdoblja: 1961. - 1990., koje predstavlja sadašnju klimu te 2041. - 2070., koje predstavlja projekciju buduće klime prema A2 scenariju IPCC-ja.

Iz navedenog se može zaključiti da se na većem dijelu sliva Save u Hrvatskoj ne očekuje značajnija promjena oborina u budućoj klimi, ali prilikom analize utjecaja klimatskih promjena na rizike od poplava na području sliva Save u Hrvatskoj, treba imati na umu stanje na ostalim dijelovima sliva rijeke Save izvan granica Republike Hrvatske, u Sloveniji i Bosni i Hercegovini.

4. SMJERNICE ZA UNAPRIJEĐENJE

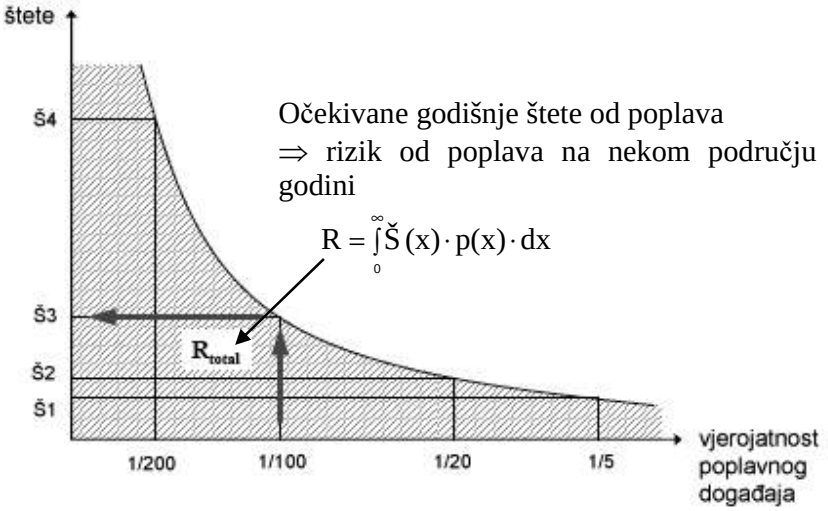
U Hrvatskoj nema ujednačenog pristupa procjeni poplavnih rizika na nivou države, u smislu propisane metodologije i načina procjene poplavnih rizika.

Nakon provedene preliminarne procjene poplavnih rizika trebaju se identificirati područja za koja se može smatrati da postoje značajni rizici od poplava. Stoga je potrebno definirati kriterije i metodologiju na osnovu kojih će se izdvojiti područja koja su pod značajnim rizikom od poplava. Na taj način bi međusobno bili usporedivi rezultati napravljenih analiza na cijelom vodnom području, odnosno na nivou države za sva vodna područja.

Za tako definirana područja potrebno je izraditi detaljnije karte opasnosti od poplave koje će osim prikaza opsega poplave, prikazati i dubinu vode ili vodostaj i eventualno brzinu i protok za odabrane scenarije i karte rizika od poplave koje će prikazivati broj pogođenog stanovništva, ugrožene gospodarske aktivnosti, instalacije koje bi mogle prouzročiti zagađenje, zaštićena područja i dr., za odabrane scenarije.

Europskom Direktivom o poplavama poplavni rizik definiran je kao kombinacija vjerojatnosti poplavnog događaja i štetnih posljedica koje može izazvati po ljude, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarstvo. Sve nevedene kategorije trebale bi biti uzete u obzir prilikom procjene rizika (Slika 6).

Rizik od poplava je veći što je poplavni događaj vjerojatniji, a njegove štetne posljedice veće. Površina ispod krivulje vjerojatnosti poplavnih događaja i njihovih očekivanih štetnih posljedica predstavlja (ukupne, prosječne) očekivane godišnje štete od poplava, odnosno rizik od poplava na nekom području u jednoj godini. Takav podatak o ukupnim prosječnim štetnim posljedicama koje se mogu očekivati na nekom području u jednoj godini predstavlja značajnu podlogu u odlučivanju i upravljanju rizicima od poplave, kao i općenito u odlučivanju o smjeru razvoja pojedinog društva i investiranju državnih sredstava.



Slika 6. Krivulja „vjerojatnost poplavnog događaja - očekivane štete“ (Senić, 2010)

Na primjeru poplave zaobalnih područja uz rijeku Savu, uslijed proboja i preljevanja savskih nasipa, koja se dogodila u rujnu 2010., vidljivo je da je prilikom procjene rizika od poplava potrebno uzeti u obzir i postojanje rizika na područjima koja su zaštićena sustavom obrane od poplave, te u analizu uključiti i procjenu rizika od otkazivanja elemenata obrane od poplave.

Karte opasnosti i karte rizika od poplave kojima će se odrediti i zonirati rizična područja dati će jasniju sliku o rizicima od poplave i ugroženim područjima. One predstavljaju podlogu za izradu plana upravljanja rizicima od poplave kao dokumenta koji će prikazati rezultate provedenih analiza, planiranih mjera i način njihove primjene i financiranja.

ZAKLJUČAK

I prije stupanja na snagu Direktive o poplavama, tijekom 2003. i 2004. godine su na području sliva Save izrađene studije rizika od poplava za sliv Orljave i sliv Krapine. Početkom 2011. završene su studije procjene rizika od poplava na slivu Česme i Ilove, a u tijeku je procjena rizika od poplava na slivu Kupe. Do kraja 2011. planira se izvršiti preliminarna procjena rizika za preostali dio sliva rijeke Save na području VGO-a Sava.

Studije o klimatskim promjenama na području sliva Save nisu rađene, te stoga niti učinci klimatskih promjena na pojavu poplava nisu uzeti u razmatranje.

Potrebno je definirati kriterije i metodologiju za određivanje *„značajnog rizika“* na osnovu čega bi se identificirala područja za koja se može smatrati da postoje značajni rizici od poplava za koja će se izraditi detaljnije karte opasnosti i rizika od poplava i zatim planovi upravljanja poplavnim rizicima.

Za potrebe izrade detaljnijih karata opasnosti i karata rizika za ona područja za koja se smatra da postoje značajni rizici od poplava potrebno je osigurati bolje ulazne podatke i podloge: precizniji model terena, točnije podatke o korištenju zemljišta i lokacijama i vrijednosti osjetljivijih objekata i drugo.

LITERATURA

[1] DHMZ, (2009.), *Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), Izabrana poglavlja: Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj Scenarij klimatskih promjena, Utjecaj klimatskih varijacija i promjena na biljke i na opasnost od šumskih požara*, Zagreb.

[2] European Commission, (2007.), *Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.*

[3] European Commission, (2009.), *Common implementation strategy for the Water framework Directive (2000/60/EC), River basin management in a changing climate*, Technical report.

[4] Hidrokonzalt.d.o.o.,(2009.), *Rizici od poplave na slivu Česme,* za naručitelja: Hrvatske vode, Zagreb.

[5] Hrvatske vode, (2004), *Rizici od poplave na slivu Krapine*, Hrvatske vode, Zagreb.

[6] Institut IGH d.d. IGH PROJEKT, (2011.), *Procjena rizika od poplave na slivu Ilove,* za naručitelja: Hrvatske vode, Zagreb.

[7] Senić,A., (2010.), *Sustavni pristup upravljanju rizicima od poplave, Magistarski rad*, Zagreb.

[8] VPB d.d., (2003.), *Rizici od poplave na slivu Orljave,* za naručitelja: Hrvatske vode Zagreb.

[9] VPB d.d., (2010.), *Sustav obrane od poplava Srednjeg posavlja - aktualizacija rješenja*, za naručitelja: Hrvatske vode, Zagreb.

AUTORI

mr. sc. Arijana Senić [a]
Lidija Kratofil, dipl. ing. [b]
Vesna Tusić, dipl. ing. [c]
Dražen Budišić, dipl. ing. [d]

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, *arijana.senic@voda.hr*

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, *lidija.kratofil@voda.hr*

[c] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, *vesna.tusic@voda.hr*

[d] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, *drazen.budisic@voda.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.14.

UČESTALOST I INTENZITET VODNIH VALOVA NA SLIVU SAVE

Lidija Kratofil, Vesna Tusić, Arijana Senić

SAŽETAK: Od kraja 2009. i tijekom 2010. godine zabilježen je izrazito velik broj visokovodnih epizoda na slivu Save, a neke od njih imale su obilježja do sada nezabilježenih, a po posljedicama u vidu poplava i katastrofalnih. Opisati će se aspekti po kojima je navedeno razdoblje specifično u meteorološkom, hidrološkom i vodnogospodarskom smislu.

U radu će se s hidrološkog aspekta obraditi veliki vodni val Save iz rujna 2010. godine, uzrokovan ekstremnim oborinama u zapadnom dijelu sliva, s do sada nezabilježenim vodama gornjeg toka rijeke Save. Opisati će se rad objekata za distribuciju velikih voda, kao i punjenje retencijskih prostora.

Prikazati će se i tijek poplave samoborskog, zaprešićkog i velikogoričkog područja, izazvane preljevanjima i prodorima savskih nasipa.

KLJUČNE RIJEČI: Sava, ekstremi, oborine, velike vode, poplava

FREQUENCY AND INTENSITY OF WATER WAVES IN THE SAVA RIVER BASIN

SUMMARY: In the period from the end of 2009 and during 2010 a particularly large number of high water events was registered in the Sava River basin, some of which were characterized by unprecedented floods with disastrous consequences. The paper will describe the aspects characterizing the said period in meteorological, hydrological, and water management terms.

From the aspect of hydrology, the paper will address a high Sava water wave of September 2010, caused by extreme rainfall in the western part of the basin, with unprecedented water levels in the upper course of the Sava River. It will describe the operation of structures for the distribution of high waters, as well as the filling of flood storage areas.

The paper will also present the process of flooding of the Samobor, Zaprešić and Velika Gorica areas, caused by the overflowing and bursting of the Sava dikes.

KEYWORDS: the Sava River, extremes, rainfall, high water, flood

1. UVOD

U radu se, s aspekta pojave velikih voda na slivu rijeke Save, poplava i provođenja mjera obrane od poplava, analizira period od prosinca 2009. do prosinca 2010. godine, koji je bio obilježen s nekoliko iznimnih situacija, koje zaslužuju da ih se opiše.

Navedeno razdoblje karakteriziraju sljedeće specifičnosti:

- dvije epizode naglog zatopljenja u prosincu kada su temperature u kratkom vremenu povećane i za 30^{0}C i topljenje snježnog pokrivača, praćeno obilnim kišama što je rezultiralo formiranjem velikih voda
- ekstremne oborine u lipnju (istok) i rujnu (zapad sliva)
- velik broj pojava velikih voda koje su zahtijevale provođenje mjera obrane od poplava, što je izuzetak u odnosu na ranije godine, uz što je vezan i najveći broj dana provođenja mjera obrane od poplava u posljednjih 36 godina
- pojava do sada najvećeg vodnog vala na Gornjoj Savi, prema statistici, 100 godišnjeg, te mjeseca u kojem se pojavio val, rujna, koji, uobičajeno, nije mjesec pojave ekstremno velikih voda
- aktiviranje preljeva Jankomir prvi put nakon 1998. godine
- jedina godina, nakon 1966., s proglašenjem izvanrednih mjera obrane od poplava na Savi u Zagrebu
- pojave apsolutnih maksimuma vodostaja na brojnim hidrološkim postajama
- do sada najveći broj angažiranog ljudstva na obrani od poplava, najveća sredstva uložena na provođenju mjera obrane, traženje pomoći Europske unije za štete od poplava
- poplava uzrokovana preljevanjem i popuštanjem postojećeg nasipa nadomak Zagreba s velikim materijalnim posljedicama

Neki od navedenih elemenata će se detaljnije opisati.

2. VISOKE TEMPERATURE ZRAKA TIJEKOM PROSINCA, TOPLJENJE SNIJEGA I KIŠA

Tijekom 21. prosinca 2009. došlo je do naglog zatopljenja praćenog stalnim južnim i jugozapadnim vjetrom, a temperature su dosegle, za taj dio godine, do tada rekordne vrijednosti, u Sloveniji do 19^0 C, a u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini do 23^0 C. Navode se primjeri s nekoliko meteoroloških postaja:

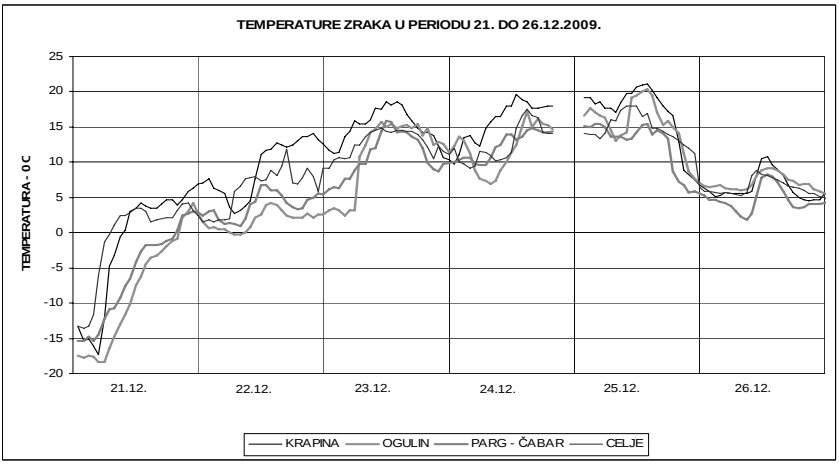
Od 21. do 22. prosinca u roku od samo 36 sati, temperature su porasle:

- u Krapini, za 30,1 ^{0}C
- u Ogulinu, za 22,6 ^{0}C
- u Pargu, za 22,1 ^{0}C
- u Celju, za 22,3 ^{0}C

Meteorološko hidrološki bilten Državnog hidrometeorološkog zavoda navodi da je 'Božić u Zagrebu s +20^{0}C bio najtopliji otkad postoje mjerenja'.

Sličan hod temperatura ponovio se u prosincu 2010. godine, ali s nešto slabije izraženim ekstremima.

Topljenje snježnog pokrivača, koji je mjestimično u višim planinskim predjelima dosezao



Slika 1. Temperature zraka u prosincu 2009. godine

i 100 cm, uzrokovano navedenim visokim temperaturama u prosincu 2009. i 2010. godine, odvijalo se u kratkom vremenu.

	VISINA SNJEŽNOG POKRIVAČA – cm			
	20.12.2009.	**23.12.2009.**	**5.12.2010.**	**8.12.2010.**
Novo Mesto	23	4	44	20
Celje	14	4	33	8
Lesce	13	2	53	22
Puntijarka	62	10	56	10
Ogulin	60	6	41	12
Parg - Čabar	31	3	66	21

Tablica 1. Visina snježnog pokrivača u prosincu 2009. i 2010. godine

Navedena zatopljenja u prosincu bila su praćena i obilnim kišama, koje su zahvatile jugozapadni dio sliva Save u Sloveniji i posebno sliv Kupe. Na drugim dijelovima sliva oborine su bile slabe.

POSTAJA	**KOLIČINA OBORINA - mm**	
	21. – 26.12.2009.	**5. – 9.12.2010.**
Novo Mesto	24.1	24.2
Celje	56	17.5
Lesce	164.7	77.4
Ljubljana	100.3	34.5
Delnice	284	182
Ogulin	55.3	43.3
Parg - Čabar	164.8	100.2

Tablica 2. Količina oborina u prosincu 2009. i 2010. godine

Kao posljedica opisanih meteoroloških uvjeta pojavili su se visoki vodostaji Gornje Save, Kupe i Une, a o intenzitetu govori podatak da je u oba slučaja preljev Jankomir na Savi bio na rubu preljevanja.

3. EKSTREMNE OBORINE

Izrazito visoke oborine, posljedica kojih su bile i poplave, pojavile su se u lipnju i rujnu 2010. godine. Dok je u lipnju zahvaćen istočni dio sliva Save u Hrvatskoj, tijekom rujna je centar oborina bio na krajnjem zapadnom dijelu, posebno u Sloveniji. Navode se pale oborine:

31.5. – 3.6.2010.		17. – 19.9.2010.	
POSTAJA	**OBORINA-mm**	**POSTAJA**	**OBORINA-mm**
Slavonski Brod	146	Celje	218
Daruvar	103.4	Novo Mesto	153
Gorice – Nova Gradiška	121.2	Brnik	184
Gradište - Županja	130.9	Parg - Čabar	222.3
Osijek	98.3	Puntijarka	135

Tablica 3. Količine oborine u lipnju i rujnu 2010. godine

Oborine u lipnju izazvale su nagli porast vodostaja Une, Česme, Ilove, Pakre, Bijele, Orljave, Istočnog lateralnog kanala Jelas polja, Zapadnog lateralnog kanala Bić polja, Biđa, Bosuta i Save nizvodno od Jasenovca te su na njima provedene mjere obrane od poplava.

Oborine u rujnu posebno su se reflektirale putem visokih vodostaja gornjeg toka Save i pritoka na tom dijelu.

4. MAKSIMALNI VODOSTAJI

Na mnogim hidrološkim postajama, maksimalni vodostaji koji su se desili tijekom 2010. godine nadmašili su ili bili tek neznatno niži od onih zabilježenih u prethodnih 35 godina, od 1975. do 2009. godine. Navedeni period je odabran, jer su tada izgrađeni ili stavljeni u funkciju objekti za rasterećenje velikih voda Save i Kupe, preljev Jankomir i kanal Odra, ustava Prevlaka i kanal Lonja – Strug i kanal Kupa – Kupa, koji značajno mijenjaju visokovodni režim.

Na dijelu toka Save uzvodno od Siska i zapadnim lijevoobalnim savskim pritocima, ekstremi su se desili za vrijeme velikog vodnog vala u rujnu 2010. Istočni lijevoobalni pritoci ostvarili su svoje maksimume tijekom lipnja iste godine, a najveći desnoobalni, Kupa i Una, tijekom prosinca 2010. godine. Tablično se daje prikaz odabranih hidroloških postaja, maksimalnih vodostaja koji su na njima zabilježeni u 2010. godini te rang tih maksimuma u razdoblju 1975. - 2010. godina. U tablici su prikazani i apsolutni maksimumi na postajama do 2009. godine koji su, i na nekim stanicama s dugim periodom opažanja, tijekom 2010. godine bili premašeni.

STANICA	MAKSIMUM U 2010.GODINI			MAKSIMUM U RAZDOBLJU 1975.-2009.		APSOLUTNI MAKSIMUM DO 2009.GODINE		
	vodostaj cm	datum	rang	vodostaj cm	godina	raspoloživo razdoblje	vodostaj cm	godina
Sava – Jesenice	580	19.9.2010.	1	578	1990.	1948.-2009.	578	1990.
Sava – Preljev Jankomir	786	20.9.2010.	1	683	2009.	1999.-2009.	683	2009.
Sava – Zagreb	464	19.9.2010.	1	441	1979.	1900.-2009.	514	1964.
Sava – Rugvica	980	20.9.2010.	1	944	1998.	1924.-2009.	944	1998.
Sava – Ustava Prevlaka	709	20.9.2010.	1	679	1998.	1989.-2009.	679	1998.
Sava – Dubrovčak	872	20.9.2010.	1	854	1998.	1926.-2009.	854	1998.
Sutla - Zelenjak	450	19.9.2010.	1	437	1989.	1967.-2009.	448	1974.
Krapina - Kupljenovo	557	19.9.2010.	5	648	1989.	1964.-2009.	648	1989.
Zelina - Božjakovina	354	19.9.2010.	1	322	1998.	1990.-2009.	322	1998.
Knl ZLGČ–Poljanski Lug	597	20.9.2010	1	503	2005.	1999.-2009.	503	2005.
Glogovnica - Koritna	578	20.9.2010.	1	420	2001.	1997.-2009.	420	2001.
Česma - Čazma	615	20.9.2010.	2	616	1993.	1962.-2009.	616	1993.
Česma –Česma ušće	506	23.9.2010.	1	497	1998.	1995.-2009.	497	1998.
Kupa – Karlovac	809	10.12.2010.	1	802	1995.	1926.-2009.	872	1939.
Kupa – J.Kiselica	707	11.12.2010.	1	686	1979.	1970.2009.	740	1974.
Una – H. Kostajnica	431	4.12.2010.	5	483	1982.	1939.-2009.	537	1955.
Ilova – V. Vukovje	541	3.6.2010.	2	546	1999.	1958.-2009.	623	1972.
Orljava – Frkljevci	529	2.6.2010.	1	493	2001.	1995.-2009.	493	2001.
Londa - Pleternica	484	2.6.2010.	1	414	2004.	1972.-2009.	414	2004.
ZLK Bid polja–Đakovo	456	1.6.2010.	1	436	1998.	1998.-2009.	436	1998.
Bid – Vrpolje	473	3.6.2010.	1	463	1996.	1978.-2009.	463	1996.
Bosut – Vinkovci	267	3.6.2010.	1	217	1998.	1988.-2009.	217	1998.

vodostaj – uz rasterećenje (kanalom Odra, Lonja –Strug ili Kupa – Kupa)

Tablica 4. Maksimalni vodostaji na hidrološkim postajama u slivu Save

Gruba procjena pokazuje da bi vodostaj Zagreba u rujnu 2010. bez rada preljeva Jankomir i bez razlijevanja na uzvodnom, nezaštićenom dijelu, umjesto zabilježenih 464 cm, bio 605 cm.

5. TRAJANJE I UČESTALOST VELIKOVODNIH EPIZODA

U ovom poglavlju se želi ukazati na posebnost 2010. godine u pogledu broja velikih vodnih valova i njihovog trajanja, posebno u smislu provođenja mjera obrane od poplava. U Tablici 5. dan je prikaz učestalosti i trajanja velikovodnih epizoda kod kojih su se, u posljednjih 36 godina, provodile mjere obrane od poplava. Prikaz se odnosi na područje Gornje Save, prezentirano stanicom Zagreb, Donje Save, prezentirane stanicom Jasenovac i Kupe, putem stanice Karlovac.

Detaljan prikaz će se dati za stanicu Zagreb. Prikazati će se trajanje vodostaja većih od onih kod kojih se počinju provoditi pojedine mjere obrane od poplava: pripremno stanje (PS) kad je vodostaj Save veći od 200 cm, redovna obrana (RO) kad je vodostaj veći od 350 cm, izvanredna obrana (IO) kad je vodostaj veći od 450 cm.

SAVA - ZAGREB									
GODINA	BROJ SATI U GODINI S VODOSTAJEM VEĆIM OD			BROJ VELIKIH VODNIH VALOVA	GODINA	BROJ SATI U GODINI S VODOSTAJEM VEĆIM OD			BROJ VELIKIH VODNIH VALOVA
	200 (PS)	350 (RO)	450 (IO)			200 (PS)	350 (RO)	450 (IO)	
	cm	cm	cm			cm	cm	cm	
1975	205	0	0	3	1993	94	0	0	2
1976	227	0	0	4	1994	0	0	0	0
1977	140	0	0	4	1995	63	0	0	3
1978	96	0	0	5	1996	70	0	0	2
1979	266	46	0	3	1997	23	0	0	1
1980	254	36	0	3	1998	206	29	0	5
1981	0	0	0	0	1999	8	0	0	1
1982	245	28	0	6	2000	164	0	0	3
1983	56	0	0	2	2001	60	0	0	3
1984	131	0	0	4	2002	5	0	0	1
1985	61	0	0	3	2003	0	0	0	0
1986	58	0	0	2	2004	114	0	0	5
1987	88	0	0	3	2005	104	0	0	4
1988	10	0	0	1	2006	45	0	0	2
1989	55	0	0	2	2007	25	0	0	1
1990	91	25	0	1	2008	101	0	0	3
1991	110	0	0	1	2009	175	16	0	4
1992	158	0	0	4	**2010**	**272**	**80**	**21**	**6**

godina – rad rasteretnog kanala Odra

Tablica 5. Analiza pojave vodostaja Save u Zagrebu većih od mjerodavnih za provođenje obrane od poplava

Iz tablice se uočava sljedeće:

- mjere pripremnog stanja provode se gotovo svake godine, no u 2010. godini su se provodile u 6 navrata što je najveći broj velikovodnih situacija u jednoj godini
- u 2010. godini Sava je iznad vodostaja 200 bila ukupno 272 sata, što je najduže trajanje od 1975.godine
- mjere redovne obrane pojavljuju relativno rijetko, ukupno kod 10 vodnih valova, od čega 2 puta u 1979., 1982. i 2010. godini
- u 2010. godini Sava je iznad vodostaja 350 bila ukupno 80 sata, što je najduže trajanje od 1975.godine
- mjere izvanredne obrane od poplava bile su na snazi samo 2010.godine, a trajale su 21 sat
- u analiziranom razdoblju nije bilo slučajeva provođenja mjera izvanrednog stanja, koje bi bilo proglašeno kada bi vodostaj prešao 550 cm

Na stanicama Sava – Jasenovac i Kupa - Karlovac analizirano je trajanje ukupnih mjera obrane od poplava u razdoblju 1975. - 2010. godina, odnosno broj dana u godini s vodostajem većim od 400 cm na postaji Jasenovac i 500 cm na postaji Karlovac. Tablično se daju rezultati pet ekstremnih godina.

GODINA	SAVA - JASENOVAC	GODINA	KUPA - KARLOVAC
2010.	**200**	**2010.**	**30**
1980.	185	2004.	21
1984.	159	2005.	21
1979.	155	1999.	19
1978.	148	1993.	17

Tablica 6. Broj dana provođenja mjera od poplava

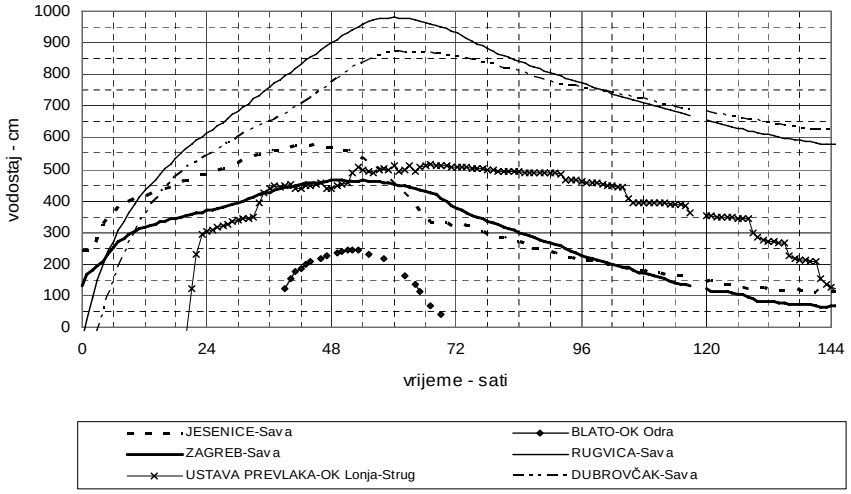
Donja Sava, koja po ostvarenim maksimumima u 2010. godini nije bila ekstremna, ističe se po trajanu mjera obrane od poplava. Na stanici Jasenovac, Sava je samo u srpnju i kolovozu bila niža od 400 cm. Području Kupe, ne samo da je bilo ekstremno po ostvarenim vodostajima, već i po trajanju mjera obrane od poplava.

6. POJAVA NAJVEĆEG ZABILJEŽENOG VODNOG VALA NA GORNJOJ SAVI

Veliki vodni val Save koji se, uslijed intenzivnih oborina na gornjem dijelu sliva, formirao u rujnu 2010. godine, procijenjen je, prema statističkim obradama, na 100 godišnji. Val se počeo formirati u petak 17. rujna u noćnim satima, a rastao je velikim intenzitetom. U nedjelju, 19. rujna u 21 sat, Sava je na ulaznom profilu u Republiku Hrvatsku dosegla do sada nezabilježeni maksimum od 580 cm, te se nastavila kretati nizvodno prema Zagrebu, gdje je maksimum dosegnut sljedeće jutro, 20. rujna u 2 sata. Vodni val je kulminirao na 464 cm, što je nakon 1964. (514cm) i 1966. (486 cm) godine, najveći vodostaj na ovoj postaji. Treba napomenuti da navedenih ranijih godina nije bio izgrađen rasteretni kanal Odra, što govori u prilog tvrdnji da je aktualni val najveći do sada zabilježen na području Zagreba.

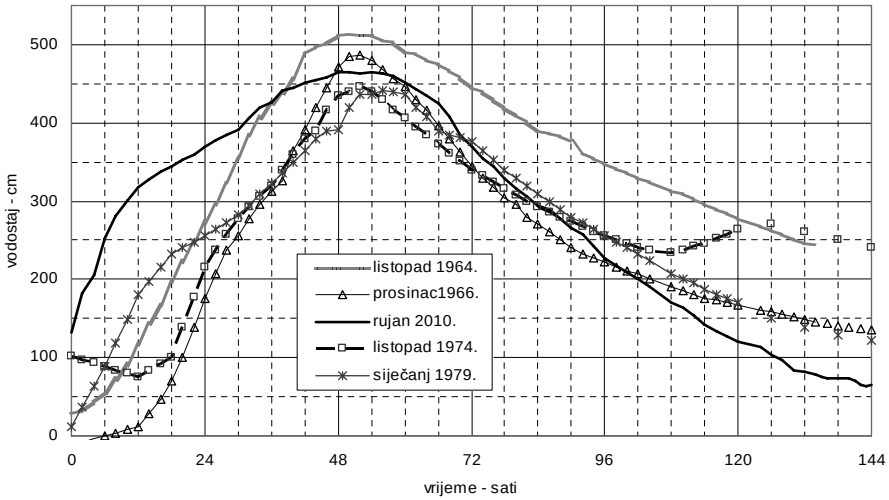
Maksimalni vodostaji postignuti su i na nizvodnom toku, u Rugvici, 980 cm, 20. rujna u 12 sati te Dubrovčaku, istog dana, u veličini od 872 cm. Obzirom da velike desne savske pritoke nisu bile zahvaćene značajnijim oborinama, donji tok Save nije bilježio visoke vodostaje.

Prema aktualnim konsumpcijskim krivuljama, kod maksimalnog vodostaja proticala je sljedeća količina vode: Zagrebom 2718 m^3/s, Rugvicom 2742 m^3/s. Prema podacima Republike Slovenije vrijednosti protoka na ulaznoj postaji Save u Hrvatsku, Jesenice, je iznosila 3598 m^3/s.



Slika 2. Nivogrami Save u razdoblju 18. – 23. rujan 2010.

Na Slici 3. dana je, po kriteriju najvećih vodostaja, usporedba pet najvećih vodnih valova na stanici Sava – Zagreb u posljednjih pedeset godina.



Slika 3. Usporedni nivogrami Save u Zagrebu

7. AKTIVIRANJE OBJEKATA ZA REDUCIRANJE VELIKIH VODA

Velike vode rijeke Save, uzvodno od Siska (ušća Kupe), vrlo se efikasno mogu reducirati:

- preljevom Jankomir i kanalom Odra, uzvodno od Zagreba
- ustavom Prevlaka i kanalom Lonja - Strug, uzvodno od Siska

Opisati će se funkcioniranje ovih distribucijskih objekata kod prolaska vodnog vala u rujnu 2010. godine i usporediti s ranijim godinama.

7.1. Preljev Jankomir i kanal Odra

Visoki vodostaji na zagrebačkom području omogućili su da se aktivira rasteretni kanal Odra, koji je smješten na desnom nasipu rijeke Save uzvodno od Grada. Radi se, zapravo o sniženju postojećeg savskog nasipa na dužini od 1000 metara, na kojem se višak velikih voda Save rasterećuje u kanal Odra i dalje u retenciju Odransko polje. Rad ovog objekta ima neprocijenjiv značaj za sniženje vodostaja u Zagrebu, procjenjuje se da je njegov doprinos na sniženje vodostaja u Zagrebu iznosio oko 1.5 metara kod pojave 100 godišnje vode.

Funkcioniranje preljeva odvijalo se u sljedećim uvjetima:

Početak preljevanja	19. rujna u 4 sata
Vodostaj na preljevu	707 cm; vodostaj na postaji Zagreb 385cm
Kraj preljevanja	20.rujna u 21 sat
Vodostaj na preljevu	711 cm; vodostaj na postaji Zagreb 408cm

, odnosno preljev je radio 41 sat.

Prije ovog, preljev je aktiviran prije 12 godina, 1998. godine, pa se njegovo aktiviranje može smatrati rijetkom pojavom. Također treba istaknuti da je unutar analiziranog perioda preljev Jankomir, osim što je aktiviran u rujnu, još dva puta, u prosincu 2009. i prosincu 2010. godine, bio na granici preljevanja; u prvom slučaju nedostajalo je oko 15 cm, a u drugom oko 20 cm, što je rijetka pojava.

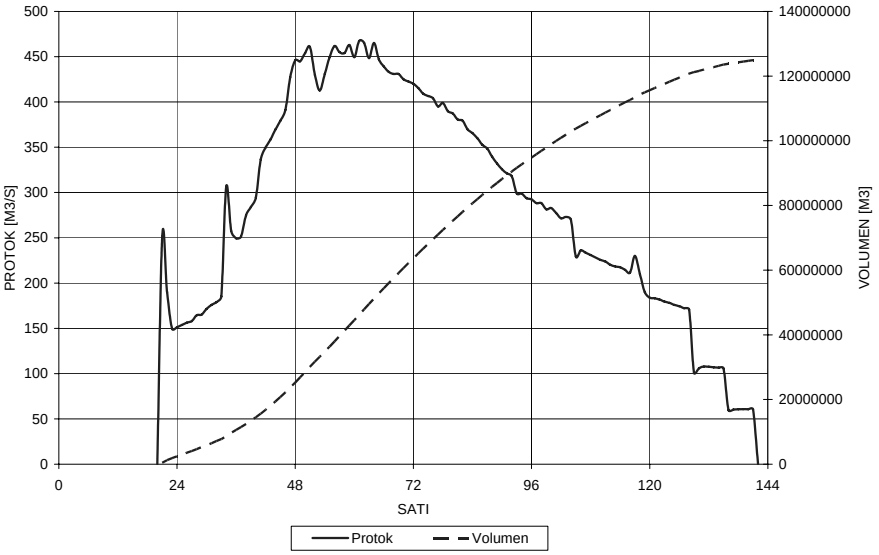
Preljev Jankomir, od kad je izgrađen bio je aktivan samo u šest navrata i to 1979., 1980., 1982., 1990., 1998. i 2010. godine, a kanal Odra u pet. Do 1998.godine nizvodno od preljeva Jankomir postojao je poprečni pregradni nasip, tzv. "Braunov nasip", koji je spriječavao automatsko ulaženje vode u kanal Odra pa ga se ovisno o veličini nadolazećeg vodnog vala trebalo rušiti. Tako vode Save prelivene za vrijeme vodnog vala u siječnju 1982. nisu ušle u u kanal Odra. Postoji malo podataka o dposadašnjim aktiviranjima kanala Odra, za neke navodimo usporedbu:

Vrijeme pojave	Maksimalni protok – m^3/s	Rasterećeni volumen – m^3	Trajanje rasterećenja - sati
Studeni 1990.	662	40.000.000	30
Studeni 1998.	564	30.000.000	27
Rujan 2010.	757	45.000.000	41

Tablica 7. Podaci o rasterećenju na preljevu Jankomir

7.2. Ustava Prevlaka i kanal Lonja – Strug

Na putu do Siska, vodni val se reducira uključivanjem u rad ustave Prevlaka, koja je smještena oko 50 km nizvodno od Zagreba. Ustava rasterećuje velike vode Save u kanal Lonja - Strug te dalje u retenciju Lonjsko polje. Ustava je 2010. godine uključena u rad 18. rujna u 19 sati, a potpuno je zatvorena 23.9. u 21 sat, dakle, ukupno je bila u radu 5 dana i 2 sata. Na Slici 4. dan je prikaz protoka kroz ustavu i ukupno rasterećen volumen u Lonjsko polje.



Slika 4. Rad ustave Prevlaka od 18. do 23. rujna 2010.

Maksimalni protok kroz ustavu je bio 467 m^3/s, a ukupno rasterećen volumen Save u retenciju Lonjsko polje iznosio je 125 mil. kubnih metara. U usporedbi s dosadašnjim aktiviranjem ovog objekta – prikaz u Tablici 8., vidljivo je da je u 2010. ostvaren maksimalni broj sati rada ustave.

REDNI BROJ OTVARANJA	MJESEC I GODINA	TRAJANJE RADA - sati	REDNI BROJ OTVARANJA	MJESEC I GODINA	TRAJANJE RADA - sati
1.	siječanj 1979.	51	13.	studeni 2000.	20
2.	studeni 1979.	101	14.	studeni 2000.	25
3.	listopad 1980.	56	15.	studeni 2000.	24
4.	siječanj 1982.	42	16.	siječanj 2001.	6
5.	studeni 1990.	84	17.	ožujak 2001.	23
6.	studeni 1991.	69	18.	prosinac 2005.	15
7.	listopad 1992.	42	19.	prosinac 2008.	17
8.	studeni 1992.	22	20.	prosinac 2008.	18
9.	prosinac 1992.	17	21.	prosinac 2009.	100
10.	listopad 1993.	68	22.	**rujan 2010.**	**122**
11.	listopad 1998.	23	23.	prosinac 2010.	81
12.	studeni 1998.	63			

Tablica 8. Dosadašnja otvaranja ustave Prevlaka

8. POPLAVE

Sve spomenute, brojne pojave velikih voda, nisu izazvale poplave, jer je izgrađen sustav obrane zaštitio zaobalje, ali je posljedica velike vode u rujnu 2010. bila katastrofalna poplava na velikogoričkom području. Upravo činjenica da je ovaj dio uz Savu zaštićen nasipom, obilježava ovu pojavu kao posebnu, a veličina poplavljenog područja i broj stradalih kuća svrstava je među najveće na savskom slivu.

Prvog dana formiranja vala, 18. rujna, poplavljena su naselja na desnoj obali Save uzvodno od Zagreba, gdje nema izgrađenih obrambenih nasipa: Samoborski Otok, Medsave,

Saveršćak, Celine, Vrbovec, te na lijevoj obali: Drenje Brdovečko, Zdenci Brdovečki, Savski Marof i Javorje.

U ranim jutarnjim satima 20. rujna došlo je do prelijevanja i procjeđivanja desnog savskog nasipa neposredno nizvodno od Zagreba, na lokaciji Sop Bukevski, a nešto kasnije i na lokaciji Strmec Bukevski, te do prodora nasipa.

Kao posljedica navedenih prodora nasipa počelo je intenzivno istjecanja vode Save u desno zaobalje, na područje Grada Velika Gorica i općine Orle, te su poplavljena sela Drenje, Drenje Ščitarjevsko, Ščitarjevo, Lekneno, Strmec Bukevski, Čret Posavski, Sop Bukevski, Obed, Gornje i Donje Bukevje, Drnek, Ribnica, Vrbovo, Strmec, Jagodno i Čička Poljana. Ova poplava je zahvatila naseljeno područje od oko 90 km2, te upozorila na nepredvidivost ishoda velikih voda.

Europska komisija je Hrvatskoj odobrila oko 4 milijuna eura za štete od poplave u svibnju i lipnju 2010. godine, a upravo je predloženo još 1,17 milijuna eura za štete koje su bile posljedice poplave u rujnu. Ova pomoć se isplaćuje iz Europskog fonda solidarnosti koji je osnovan nakon nakon poplava u srednjoj Europi 2002. godine.

ZAKLJUČAK

U radu je opisano razdoblje pojave velikih voda na Savi, koje je obilježeno iznimnim brojem pojava, apsolutnim maksimumima vodostaja i dugim trajanjem visokih voda na nivou godine. Opisane su ekstremne meteorološke prilike koje su ih izazvale, bez dovođenja u vezu s mogućim klimatskim promjenama. Budućnost će pokazati da li se radi o izuzetku ili će se opisane pojave ponavljati. Svakako treba uzeti u obzir mogući, povećani rizik od pojave velikih voda i poplava i uključiti ga u proces upravljanja rizicima od poplava.

LITERATURA

[1] DHMZ, Banka hidroloških podataka – HIS 2000

[2] DHMZ, Meteorološki i hidrološki bilteni za 2009. i 2010. godinu

[3] Hrvatske vode, Informacijski sustav voda

[4] Hrvatske vode, Izvješća o provedenim obranama od poplava

AUTORI

Lidija Kratofil, dipl. ing. građ. [a]
Vesna Tusić, dipl. ing. kult. teh. [b]
mr. sc. Arijana Senić, dipl. ing. građ. [c]

Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb,10 000, Republika Hrvatska

[a] lidija.kratofil@voda.hr

[b] vesna.tusic@voda.hr

[c] arijana.senic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.15.

EXTREME FLOOD FLOW MEASUREMENT OF THE SAVA RIVER

Andrej Vidmar, Anton Čotar, Lidija Globevnik, Mitja Brilly

SUMMARY: Last years in Slovenia several flood events passed the Sava River valley. There have been more often flood events in last five years than had been before in 10 years period. The events were from ten to fifty years-return periods of floods and were very well documented. There were two events in December 2009 and in September 2010. Last year during fifty-year autumn flood event we measure current profiles and summarise discharges with *Acoustic Doppler Profiler* (ADP) velocity meter. We measure over sixty velocity profiles with 20 cm resolution in vertical direction. Data was picking up from main stream flow and flood plain flow separately. Maximum of measured mean profile velocity exceed 4 m/s and this was first time to measure so high flows on the Sava River. Remote images in IR spectres of flooded area were also picking up by airplane in the same time.Measured data present very interesting and complex relations between flood flow on flooded area and in stream flow. Results of measurement on flood plain and in stream will be presented. What is interesting is that measured in stream velocity during lower flood event was higher than during second and much higher water level with large floodplain.

KEY WORDS: flood , hydrometry, current profiling, discharge measurement

MJERENJE PROTOKA TIJEKOM EKSTREMNIH POPLAVA RIJEKE SAVE

SAŽETAK: Protekle godine u Sloveniji se dogodilo nekoliko poplavnih događaja u dolini rijeke Save. U proteklih 5 godina dogodilo se više poplavnih događaja nego u proteklom 10-godišnjem razdoblju. Ti događaji bile su poplave od 10 do 50-godišnjeg povratnog razdoblja, koje su veoma dobro dokumentirane. U prosincu 2009. godine i u rujnu 2010. godine dogodila su se 2 događaja. Prošle godine tijekom jesenjeg poplavnog događaja 50-godišnjeg povratnog razdoblja izmjerili smo profile u riječnom toku i sumirali protoke uz pomoć mjerača brzina *Acoustic Doppler Profiler* (ADP). Mjerili smo preko 60 brzinskih profila s rezolucijom od 20 cm u vertikalnom smjeru. Podaci su uzeti posebno iz glavnog riječnog toka i iz toka u naplavnoj ravnici. Maksimalno izmjerena brzina srednjeg profila prelazila je 4 m/s, i tada su prvi put izmjereni tako veliki protoci u rijeci Savi. Daljinske snimke u IR spektrima istovremeno su snimljene i iz aviona. Izmjereni podaci prikazuju vrlo zanimljive i složene odnose između poplavnog protoka na poplavljenom

području i u riječnom toku. Biti će prikazani rezultati mjerenja u naplavnoj ravnici i u riječnom toku. Ono što je zanimljivo jest da su izmjerene brzine u riječnom toku bile veće tijekom manjeg poplavnog događaja nego tijekom drugog događaja, s mnogo višim vodostajima i velikom naplavnom ravnicom.

KLJUČNE RIJEČI: poplava , hidrometrija, mjerenje brzine struje, mjerenje protoka

1. INTRODUCTION

The flow measurement by Acoustic Doppler Profiler is up to day methodology suitable for measurement high flows that were not so easy by current propelered meter. Recent results and experience from field measurement of two flood event on the Save River in December 2009 and September 2010 will be presented and discuss.

Measurement was developing from the old steel bridge near Brežice (figure 1) on the confluence of the Krka River and the Sava River (figure 2). Measurement profile was 490 m long between Brežice and Čatež along the bridge and consist from three linear transection, shorter 110 m on Sava River, longer 300 m over flood plane and 80 m of Krka River. Because of high river condition the flow shear forces near bed increase, so gravel and silt bed structure start to move and moving bed conditions arise. In order to measure flow accurately using a ADP system that uses the moving boat method (dynamic measurements), the system needs a reference in which to relate the water velocities to, this being the bed of the river. In most cases it is assumed that bed does not move. However in flood circumstances, special with high flow velocities over 4 m/s mean profile velocities, the system will detect moving bed. If such a condition arises the total calculated discharge would always be less than the true discharge, because water velocities are underestimated. If the river bed is moving at 0,2 m/s and the true water velocities is 1 m/s and the ADP is not moving on the water surface then it will calculate the water speed to be 0,8 m/s. To overcome such problems we use an alternative approach to the standard moving bed boat method of measuring water currents, depth of the river and discharge. We use the stationary-measurement software from SonTek, the ADP operates from a fixed mounted position (static measurements) and instrument collects the data for 40 seconds. We can increase interval in more turbulent flow to better average the oscilation of the flow and to get better result. ADP measure at same location mean values every five second interval and so we get eight measurements during forty seconds measurement season. After sucessful measurement ADP is then moved to next position. Width of such vertical must be small enough not to take up more than advised 10% of total flow of measured cross section. The measurement procedure is similar to that used for the classical propeller current meters and is adherence to ISO velocity area measurement techniques.

Figure 1. Sava River ADP stationary measurements from old steel bridge in 2009 and during extreme autumn 2010 flood

Figure 2. Photo of cross section during 2010 flood

Since the bottom tracking is removed due to the fact that the measurement position is input by the user, the moving bed element causing troubles is completely removed from equation and true flow can be computed. There were many other advantages' using stationary method including:

- easy of use and understand for users as the methodology is exactly the same as traditional techniques and discharge uncertainty can also be calculated with proven methods ISO and USGS (reference 1);
- Quality of the data is easy to control during measurement. If something disturb each measurement then measurement is simply repeated. This is often caused by floating debris, when ADP instrument must be moved not risking the damage of the instrument;
- current profiling. We use it a lot to provide the data to hydraulic models to compare the results and control them;
- measurements where weed exist on the bed causing bottom track failure for moving boat methods, This is present in growing season period on slow floating rivers (reference 3);
- measurements in turbulent conditions;

- low flow measurements' where it is hard to maintain boat speed less than the water speed;
- measurements beyond the range of instruments. The bed depth can be added using a surveyed cross section data. The bottom velocities are being extrapolated to the bed using 1/6th power law. In our case we have 3 GHz ADP with maximum 6,5 m range and to reach 9 m bed depth to use stationary method was only solution.

2. RESULTS

Measurement report from December 2009 is on figure 3. and from September 2010 is in figure 4.

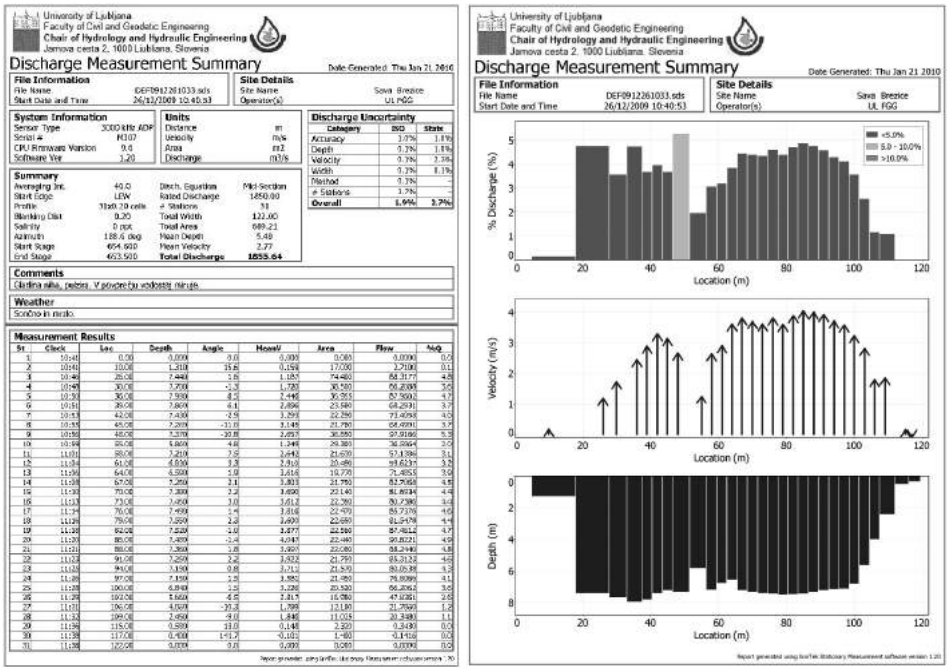


Figure 3. Measurement in December 2009; Discharge report

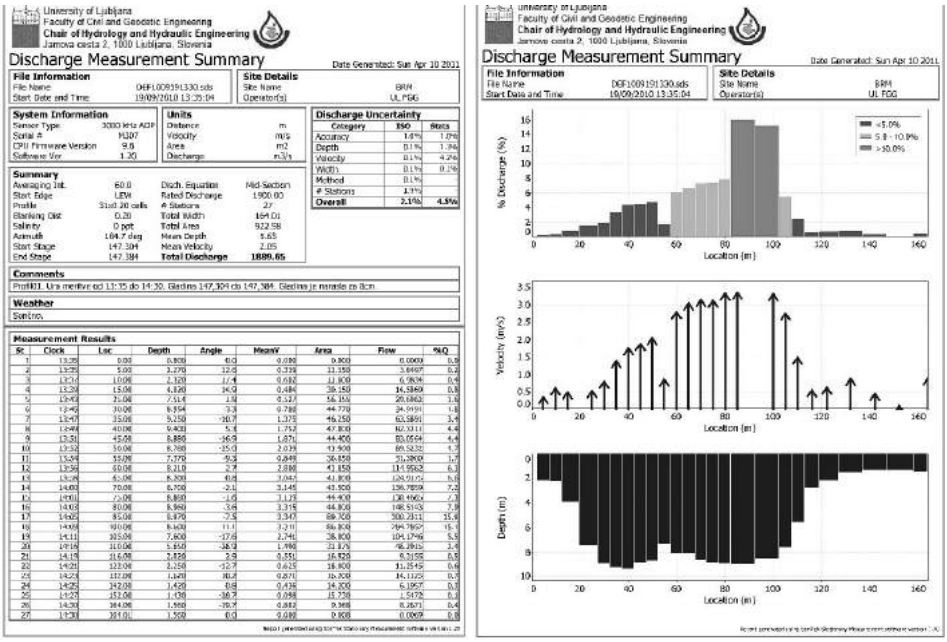


Figure 4. Measurement in September 2010; Discharge report

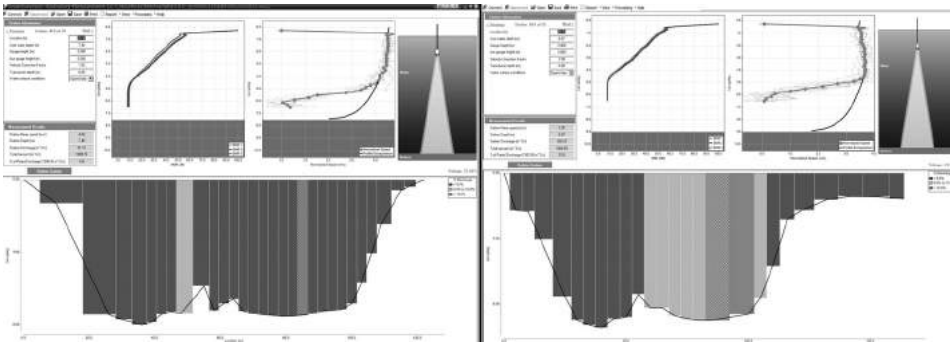


Figure 5. Measurement in profile 85 m from left bank
in December 2009 and September 2010

The Sava stream discharge measured in 2009 was 1855 m^3/s and in 2010 was only 1848 m^3/s (peak discharge was 1931 m^3/s at 17:00). The water level in 2011 was 1,6 m higher than from 2009. The flow on confluence is quite complex. Velocity on same profile is presented on figure 7. Mean profile velocity measured in 2009 with lower discharge is much higher than mean velocity measured in 2010. Figure 7. show also dammed stream which arise due to confluence of two rivers and narrower common cross section about hundred meters downstream after confluence. The same compared velocity profile at 85m from left bank show free flow in the case of 16.12.2009 where normal velocity curve is turned forward follow the 1/6th law. In the case of 19.09.2010 vertical normal velocities curve

is in profile turned backward (figure 5) in the upper part of the curve what shows us to obvious obstacle in the flow regime.

Comparing data with IR picture (figure 6) we can split the summary of top estimated discharge of 3504 m^3/s to 2 part for Sava, 1 part for Krka and 1/2 for flood plane part:

Profile	**Time (GMT+2)**	**Mean-velocity (m/s)**	**Total Area (m^2)**	**Total Discharge (m^3/s)**
Sava	17:00	2,274	849	1931
Krka with Sava	17:00	2,021	517	1045
flood plane	17:00	0,757	697	528

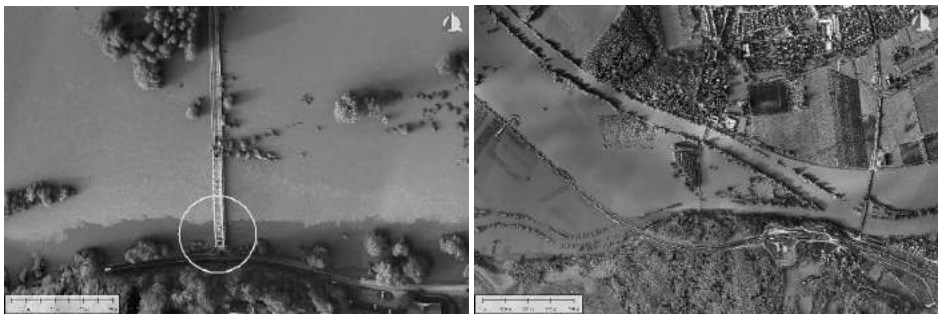


Figure 6. IR picture detail in Krka river where mixture of Sava river is presented.

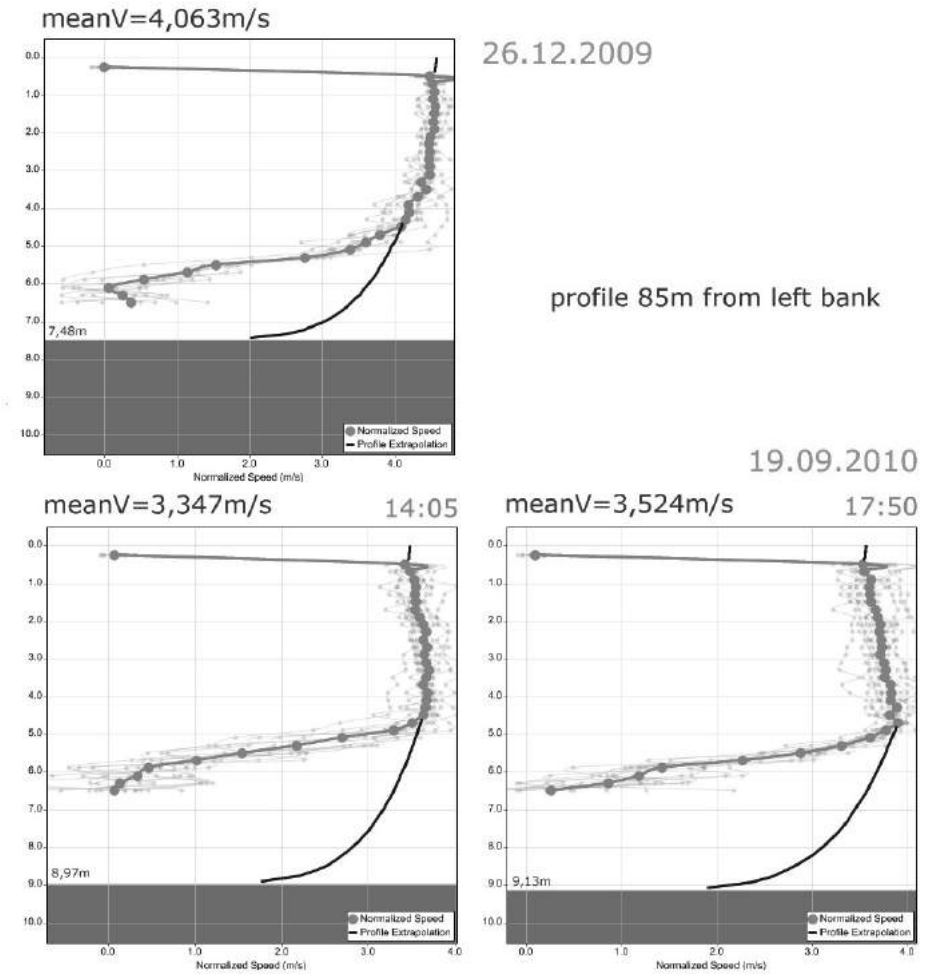


Figure 7. Velocity measured in same profile 85 meters from left bank at both events.

CONCLUSION

The flow measurement by Acoustic Doppler Profiler is up to day methodology and gives us very valuable data. In the past to get approach of such data was only possible by 2D hydraulic numeric modelling or physical models, but most correct data regarding the flow and also dissolved transport we can obtain only to measure them.

Our measurements clearly show to the problem of narrower cross section 100-200 metres downstream of conflunce of two rivers Sava and Krka and why flooded area was so big also in upstream on Krka river and why so many villages are under the water even the main reason was 100-year flood in Krka valley.

We can estimate that average flood plane vertical velocities ware 3-4 times lower than in main stream.

Measurement in extreme conditions where mean vertical velocites exceeds 4 m/s and with surface velocities near 5 m/s is also dangerous if not take security precautions in account. Well-trained and experienced team must hold measurements in such conditions with security in mind.

To obtain good data water level must be measured all the time of measurement.

REFERENCES

[1] Quantifying Uncertainty in Discharge Measurements: A New Approach, by J. E. Kiang, (U.S. Geological Survey, Office of Surface Water, 12201 Sunrise Valley Drive MS415, Reston, VA 20192 E-mail: jkiang@usgs.gov), T. A. Cohn, (U.S. Geological Survey, Office of Surface Water, U.S. Geological Survey, 12201 Sunrise Valley Drive MS415, Reston, VA 20192 E-mail: tacohn@usgs.gov), and R. R. Mason, Jr., (U.S. Geological Survey, Office of Surface Water, 12201 Sunrise Valley Drive MS415, Reston, VA 20192 E-mail: rrmason@usgs.gov)

[2] http://www.sontek.com/pdf/pub/soil-and-water-assessment-tool-swat-global-applications.pdf

[3] N. Martin, RiverSurveyor's Stationary Method Used in Unseasonal Summer Flood Conditions - A sign of climate change?, A case study in Derby, United Kingdom, 2007; www.sontek.com

AUTHORS

Andrej Vidmar [1]
Anton Čotar [1]
Lidija Globevnik [2]
Mitja Brilly [1]

[1] Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Uni. of Ljubljana, Jamova 2, Ljubljana, SI-1000

[2] IZVRS, Hajdrihova 28, Ljubljana, SI-1000
email: *avidmar@fgg.uni-lj.si, mbrilly@fgg.uni-lj.si, lidija.globevnik@izvrs.si*

R 1.16.

THE SAVA RIVER LOW FLOW FORECASTING SYSTEM

Luka Štravs, Mitja Brilly, Andrej Vidmar

SUMMARY: Low flow forecasting models for most of the Sava River's Slovenian tributaries were developed and integrated into the model for forecasting 7-day ahead daily flows at the hydropower plants located on the Sava River. Low flow forecasting models for hydropower plants were developed by using the M5 machine learning method connecting appropriate Sava River tributaries' and hydropower plant flow data. The Sava River low flow forecasting system is now operationally run on a daily basis and verification of the forecasting results on the hydropower plant data shows good results.

KEY WORDS: Low flow forecast, Sava River, M5 machine learning model, 1D Doppler flow meter.

SUSTAV PREDVIĐANJA NISKIH PROTOKA RIJEKE SAVE

SAŽETAK: Modeli predviđanja niskih protoka za većinu slovenskih pritoka rijeke Save izrađeni su i ugrađeni u model predviđanja dnevnih protoka 7-dana unaprijed na hidroelektranama smještenim na rijeci Savi. Modeli predviđanja niskih protoka za hidroelektrane izrađeni su metodom strojnog učenja M5 kojom se povezuju podaci o protoku na odgovarajućim pritocima rijeke Save i hidroelektranama. Sustav predviđanja niskih protoka rijeke Save sada funkcionira svakodnevno, a verifikacija rezultata predviđanja podataka za hidroelektrane pokazuje dobre rezultate.

KLJUČNE RIJEČI: Prognoza malih protoka, Rijeka Sava, M5 model strojnog učenja, 1 D Doppler mjerač toka.

1. Introduction

In Slovenia the Sava River Basin comprises the central part of the country. There are five in-stream hydropower plants situated on the Slovenian part of the Sava River (hydropower plants Moste, Mavcice, Medvode, Vrhovo and Bostanj). Good and accurate long-term low flow forecasts are especially important in the fields of sustainable water management, water rights, water supply management, industrial use of freshwater, optimization of the reservoir operations for the production of electric energy and other water-related disciplines in the Sava River Basin.

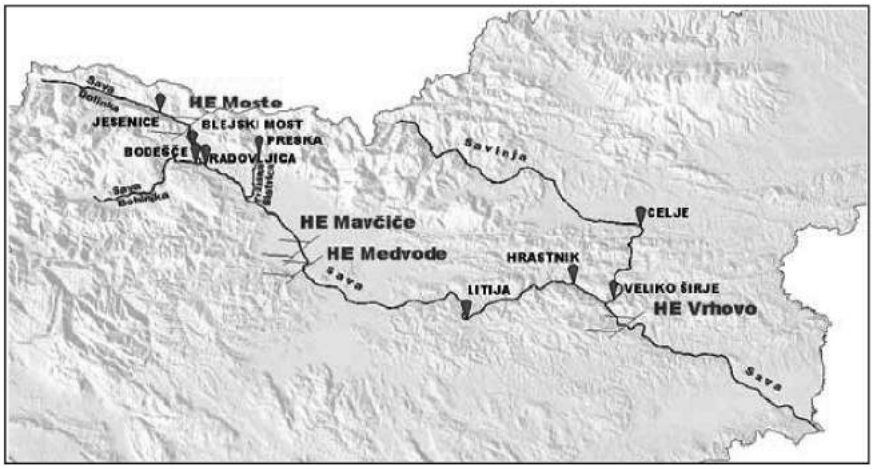


Fig. 1. Map with the locations of the Sava River hydropower plants, for which the low flow forecasting models were developed

Aim of our work was to develop a model for forecasting 7-day ahead daily flows at the hydropower plants located on the Sava River, install all the necessary technical equipment and to make it run operationally on a daily basis.

1.1 Low flow forecasting

Today, low flow forecasting is usually performed as an integrated part of calibrated rainfall–runoff models. In our research we developed empirical low flow forecasting model based on the conceptual knowledge of linear reservoir recession functions and the usage of the M5 machine learning method for the generation of regression and model trees.

1.2 Recession analysis

Knowledge about the behaviour of streamflow dynamics at the time of rainless periods presents an important input to processes likewater resource management during periods of hydrological drought, planning and optimisation of the operation of hydropower plants, the cooling of nuclear power plants, planning and operation of irrigation systems, estimation of environmental flow requirements, and other processes heavily dependent on the availability of water.

1.3 Machine learning

Machine learning methods can discover patterns in the data that cannot be so easily discovered by using conventional statistical methods. With enough input data describing the process, they can automatically learn patterns. Models generated by application of machine learning methods are mostly used for forecasting or prediction purposes and for learning new knowledge about the observed processes.

2. The Sava River basin characteristics

The Sava River runs 945 km, rising in Slovenia, continuing across Croatia and Bosnia and ending in Serbia at its confluence with the Danube in Belgrade. It contributes approximately 25% of the Danube's total discharge and has a drainage area of approximately 96 400 km^2. In Slovenia, the Sava River Basin forms the central part of the country and has a drainage area of 11 761 km^2.

River	Gauging station	Drainage area (km^2)	Period of available data	Q_{95} (m^3/s)	Q_{80} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{30} (m^3/s)
Sava Dolinka	Jesenice	257.60	1991–2003	4.2	5.4	7.9	10.4
Sava	Medno	2201.50	1991–2003	27.1	36.0	54.7	78.5
Sava	Hrastnik	5176.79	1994–2003	48.4	71.0	112.0	164.0
Sava	Jesenice na Dolenjskem	10881.64	1991–2002	76.1	114.0	192.0	288.0

Table 1. Flow duration statistics and drainage areas for gauging stations on the Sava River

The main tributaries of the Sava River in Slovenia are the Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Trziska Bistrica, Kokra, Sora, Ljubljanica, Kamniska Bistrica, Savinja and Krka rivers.

River	Gauging station	Drainage area (km^2)	Period of available data	Q_{95} (m^3/s)	Q_{80} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{30} (m^3/s)
Sava Dolinka	Jesenice	257.60	1991–2003	4.2	5.4	7.9	10.4
Radovna	Podhom	166.79	1991–2003	1.9	2.6	4.8	7.4
Sava Bohinjka	Bodesce	363.91	1991–2003	4.1	6.0	11.4	19.3
Trziska Bistrica	Preska	121.00	1991–2003	2.2	2.6	3.7	5.0
Kokra	Kranj	220.23	1991–1996	0.6	1.5	3.5	5.4
Sora	Medvode	642.86	1991–2003	6.7	9.3	14.8	22.1
Kamniska Bistrica	Vir	207.78	1991–2003	0.2	0.6	2.3	4.7
Ljubljanica	Moste	1762.52	1991–2003	7.5	14.9	33.2	58.4
Savinja	Veliko Sirje	1841.90	1994–2003	9.3	14.2	24.9	37.5
Krka	Podbocje	2238.12	1991–2003	9.5	15.6	28.8	47.8

Table 2. Flow duration statistics and drainage areas for gauging stations on the Sava River tributaries

The hydropower plant (HPP) Moste is situated on the Sava Dolinka River in the head part of the Sava River. The HPP Mavcice and HPP Medvode are in the chain in the upper middle part of the Sava River. The HPP Vrhovo and HPP Bostanj are situated on the lower part of The Sava River, downstream of inflow of its largest tributary, the Savinja River.

3. Development of the Sava River low flow forecasting system

3.1 Setting up of gauging stations

Starflow ultrasonic Doppler instruments, which enable us to perform continuous measurements of flow depth, velocity and temperature, were set up at relevant gauging stations located on the tributaries of the Sava River:

Jesenice gauging station on the Sava Dolinka River,

Bodesce gauging station on the Sava Bohinjka River,

Preska gauging station on the Trziska Bistrica River,
Hrastnik gauging station on the Sava River and
Veliko Sirje gauging station on the Savinja River.

Additional telecommunications equipment for remote access of the instruments was bought and installed. Software for on-line access and automatic collection of contemporary flow data from the instruments was developed as well.

Fig. 2. Energy supply and telecommunications equipment

3.2 Data used in the development of numerical 7-day lead time low flow forecasting models

The daily discharge data for the period from 1991 to 2003 for gauging stations located at the river basin outlets of the Sava River tributaries Sava Dolinka, Sava Bohinjka and Trziska Bistrica were provided by the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. The daily discharge data set for the Savinja River and the data set for the Hrastnik gauging station on the Sava River were shorter and included only daily discharge data from 1994 to 2003. The recession data up to year 2002 were used to develop the low-flow forecasting models and the recession data for year 2003 were used to verify the models generated.

3.3 Development of the numerical 7-day lead time low flow forecasting model

Low flow forecasting models for most of the Sava River's Slovenian tributaries were developed by using M5 machine learning method and integrated into the model for forecasting 7-day ahead daily flows at the hydropower plants located on the Sava River.

By feeding the M5 machine learning method with enough relevant input (also called attributes in machine learning theory) and output data (also called classes) about the modelled process, it can automatically learn the patterns underlying the modelled process from the data alone and it can divide the attribute data space into attribute subspaces where certain characteristic similarities or patterns exist. The division into attribute subspaces includes iterative splitting of data, and follows the goal of selecting and determining the splitting criterion at each decision node which maximises the distance between data groups at each split (Breiman et al., 1984; Quinlan, 1986, 1992; Mitchell, 1997; Witten & Frank, 2000; Solomatine & Dulal, 2003). The M5 Machine learning method as it is implemented in the WEKA system (Witten & Frank, 2000), developed at the University of Waikato, New

Zealand, was used in this research to generate regression tree models of the recession coefficient k from equation (1) to be used in the low-flow forecasting models for each gauging station. The algorithm of the original M5 method was invented by Quinlan (1992) and has been successfully used in hydrology in the last 10 years (Solomatine & Dulal, 2003; Štravs et al., 2004; Štravs and Brilly, 2007).

The development of the low-flow forecasting models was based on the equation that is usually used for modelling the dynamics of the streamflow rates on the recession part of the streamflow hydrograph:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-k \cdot n} \quad (1)$$

where Q_{t+n} is flow rate at n-days after the time of the forecast t, Q_t is the flow rate at the time of the forecast, e is the base of the natural logarithm function, k is the recession coefficient and n is the number of days in advance for which the forecast is made. The coefficient k is usually a constant, i.e. single-valued. Alternative forms of the simple exponential equation describing the recession curve are also known (Tallaksen, 1995).

The first phase of the development of the 7-day lead time low-flow forecasting models was the identification and analysis of the streamflow recession segments for all tributaries of the Sava River that were included in the research. A comparison of the individual recession segments for each of the gauging stations showed great variability in the behaviour of individual recession segments. This led us to the idea of developing a 7-day lead time low-flow forecasting model with a variable recession coefficient k from equation (1) being a function of the flow rate Q_t at the time when the forecast is issued and the decrease in the flow rate in the last 24 hours dQ. Regression tree models of the variable recession coefficient k from equation (1) for each of the tributaries' gauging stations were built using the M5 machine learning method.

The Savinja River - Gauging station Veliko Sirje regression tree model of the variable recession coefficient k from equation (1) is:

```
dQ <= 2.78 :
|  Qt <= 23 :
|  |  dQ <= 0.783 : k = 0.0259
|  |  dQ >  0.783 : k = 0.0372
|  Qt >  23 :       k = 0.0510
dQ >  2.78 :
|  dQ <= 6.84 :     k = 0.0617
|  dQ >  6.84 :     k = 0.0938
```

The model of the variable recession coefficient k for the Savinja River is given as follows: if dQ, i.e. flow rate change in the last 24 h, is lower than 0.783 m^3/s and Q_t, i.e. the flow rate at the time when the low-flow forecast is made, is lower than or equal to 23 m^3/s, then recession coefficient k with a value of 0.0259 should be used in equation (1) when the actual low-flow forecast is made. However, if dQ is higher than 0.783 and lower than 2.78 m^3/s, and Q_t is lower than or equal to 23 m^3/s, then a value of 0.0372 should be used as recession coefficient k. If dQ is lower than or equal to 2.78 m^3/s and Q^t is higher than 23 m^3/s, the recession coefficient with the value 0.0510 should be used. If dQ is higher than 2.78 m^3/s and lower than or equal to 6.84 m^3/s, the recession coefficient with a value

of 0.0617 should be used. Finally, if dQ is higher than 6.84 m^3/s, then the recession coefficient 0.0938 is to be used in equation (1) when the actual low flow-forecast is made.

3.4 Low flow forecasting models for hydropower plants

Numerical models for forecasting 7-day ahead daily low flows at the hydropower plants located on the Sava River were also developed by using the M5 machine learning method connecting appropriate Sava River tributaries' and hydropower plant flow data.

Moste hydropower plant model is based on the low flow forecasting models for Jesenice gauging station (the Sava Dolinka River):

Sava_GS_Jesenice <= 9.735 : Sava_HP_Moste = 1.0138 * Sava_GS_Jesenice + 1.5127
Sava_GS_Jesenice > 9.735 : Sava_HP_Moste = 1.2541 * Sava_GS_Jesenice - 0.8643

Mavcice and Medvode hydropower plant model integrates low flow forecasting models for Jesenice gauging station (the Sava Dolinka River), Bodesce gauging station (the Sava Bohinjka River) and Preska gauging station (the Trziska Bistrica River).

Vrhovo hydropower plant model integrates low flow forecasting models for Hrasnik gauging station (the Sava River) and Veliko Sirje gauging station (the Savinja River):

Sava_HP_Vrhovo = 1.0123 * Sava_GS_Hrastnik + 1.0708 * Savinja_GS_VelikoSirje - 8.3962

4. The Sava River low flow forecasting system in operation

Flowmeters at gauging stations are connected to the operation centre via mobile phones. Every day the data from the gauging stations is collected and transferred to the operation centre where flow data are stored and 7-day ahead low flow forecasts are issued.

4.1 Operational system's graphical user interface

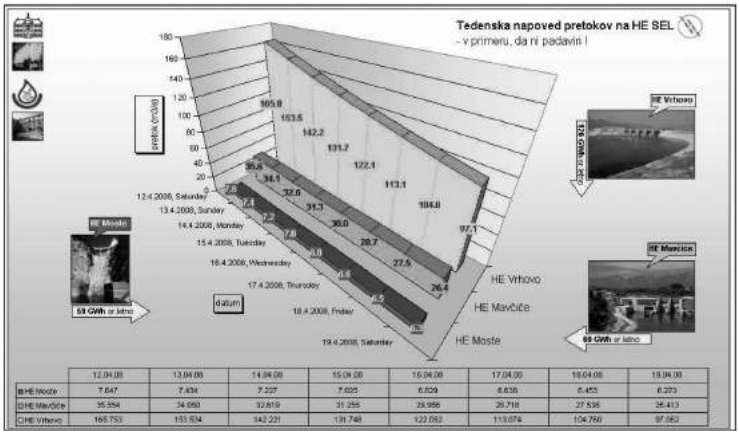


Fig. 3. The Sava River low flow forecasting system in practic

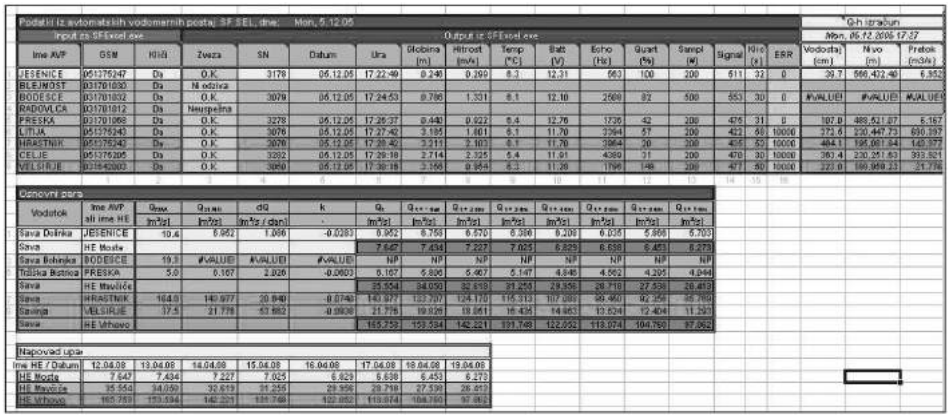


Fig. 4. The Sava River low flow forecasting system in operational use - collection of the gauging station data and issuing 7-day lead time low flow forecasts

4.2 Verification of the Sava River low flow forecasting system

The Sava River low flow forecasting system is now operationally run on a daily basis and verification of the forecasting results on the hydropower plant data shows good results.

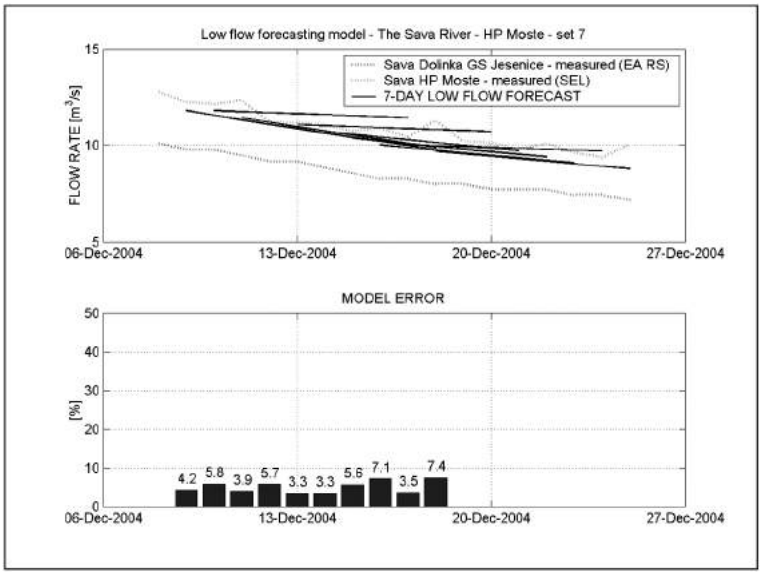


Fig. 5. Verification of the HPP Moste low flow forecasting model

Verification of the Sava River low flow forecasting system for the Moste hydropower plant shows that the model produces a mean relative absolute error in the range of up to 8% when issuing 7-day ahead low flow forecasts.

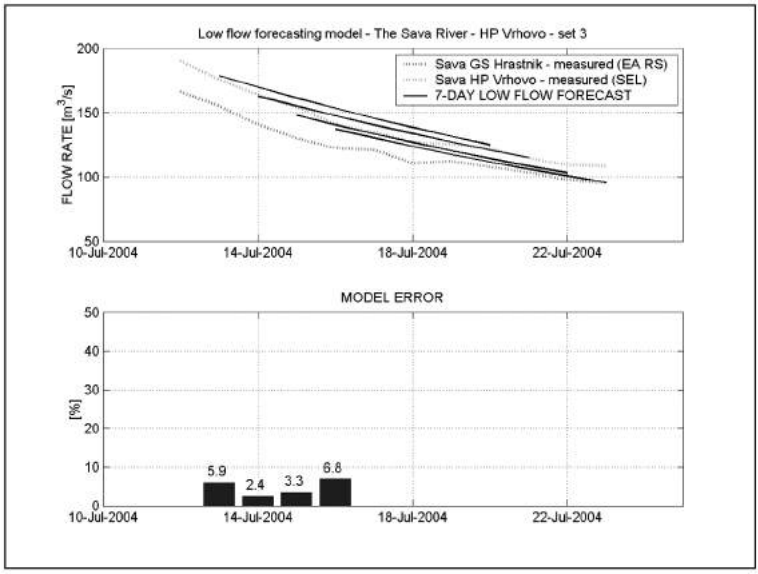


Fig. 6. Verification of the HPP Vrhovo low flow forecasting model

Verification of the Sava River low flow forecasting system for the Vrhovo hydropower plant shows that the model produces a mean relative absolute error in the range of up to 7% when issuing 7-day ahead low flow forecasts.

REFERENCES

[1] Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. and Stone, C. J., "Classification and Regression Trees", Wadworth, Belmont, California, USA, 1984.

[2] Mitchell, T. , "Machine Learning", MIT Press, Inc, Boston, Massachusetts, USA, 1997.

[3] Quinlan, J. R., "Induction of Decision Trees", *Machine Learning* 1, 81-106, 1986.

[4] Quinlan, J. R., "Learning with continuous classes", *Proc. Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, 343-348. World Scientific, Singapore, 1992.

[5] Solomatine, D. P. and Dulal, K. N., "Model trees as an alternative to neural networks in rainfall-runoff modelling", *Hydrological Sciences Journal* 48(3), 399-411, 2003.

[6] Štravs, L. and Brilly, M., "Development of a low-flow forecasting model using M5 machine learning method", *Hydrological Sciences Journal*, 52, 466-478, 2007.

[7] Štravs, L., Kobold, M. and Brilly, M., "Modeli kratkorocnih napovedi pretokov visokih voda na Savinji (Short-term flood forecasting models for the Savinja River)", *Proceedings* - Misicev vodarski dan, Maribor (in Slovene), 2004.

[8] Tallaksen, L. M., "A review of baseflow recession analysis", *Journal of Hydrology* 165, 349–370, 1995.

[9] Witten, I. H. and Frank, E., "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations", Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA, 2000.

AUTORI

Luka Štravs [a]
Mitja Brilly [a]
Andrej Vidmar [a]

[a] Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia (e-mail: lstravs@fgg.uni-lj.si, mbrilly@fgg.uni-lj.si)

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.17.

OTJECANJA SA SLIVA SLANOG POTOKA I IZVORA RIJEKE DUBRAČINE NA PODRUČJU VINODOLSKE DOLINE

Slani potok and Dubračina river spring runoff characteristics, Vinodol valley

Igor Ružić, Ivana Sušanj, Nevenka Ožanić, Elvis Žic

SAŽETAK: U sklopu znanstvenog projekta ***Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj*** provedena su početna hidrološka i meteorološka mjerenja na području Vinodolske doline. Mjereni su vodostaji na dva mjerna profila; ušću Slanog potoka u rijeku Dubračinu i izvoru rijeke Dubračine, te količina oborine.

Područje Vinodola prekrivano je naslagama fliša, karakterizira ga vodonepropusnost tla, te povećana mogućnost pojave erozije tla i klizišta. Također, područje je definirano prostorno planskom dokumentacijom kao područje posebnih obilježja zbog svojih krajobraznih vrijednosti.

Prvi mjerni profil postavljen je na Slanom potoku koji je bujični vodotok, površine sliva A≈2km^2 ,velikog nagiba sliva i vodotoka (srednji pad sliva iznosi 20%) i duljinom vodotoka je 4,1 km, što rezultira brzim porastima vodostaja. U slivu Slanog potoka nalazi se najveće aktivno klizište u Hrvatskoj.

Drugi mjerni profil postavljen je 200m nizvodno od izvora rijeke Dubračine. Bilancu voda profila čine izvori Sitnik i izvor Dubračine, te površinska otjecanja (površina sliva A≈1km^2). U sušnom razdoblju glavninu otjecanja čini izvor Sitnk, koji rijetko presuši. U kišnom periodu aktivira se i sam izvor Dubračine, kao i površinska otjecanja. Područje oko mjernog profila je zamočvareno, sa dosta velikim retencijskim kapacitetom uzvodno od mjernog profila, što značajno utječe na otjecanja.

U ovom radu izračunati su koeficijenti otjecanja istraživanih profila u ovisnosti o intenzitetu oborina. Otjecanja Slanog potoka izrazito ovise o dijelu godine zbog utjecaja procesa evapotranspiracije. Koeficijenti otjecanja u proljeće višestruko su manji od jesenjih za istu količinu oborine.

Zamočvareno područje u slivu profila izvora Dubračine značajno utječe na otjecanja, zbog čega su koeficijenti otjecanja manji od 0,1 tijekom provedenih istraživanja.

KLJUČNE RIJEČI: Vinodol, koeficijent otjecanja, bujični vodotok, zamočvareno područje

SUMMARY: The initial hydrological and meteorological measurements were carried out in the Vinodol area as a part of croatia-japan scientific project ***Risk identification and land-use plannong for disaster mitigation of landslides and floods in Croatia***.

The Vinodol area is covered with flysch sediments. The area is defined by the land use planning documents as an area with special characteristics due to its landscape value.

The first hydrological profile is set on torrential flow Slani potok, catchment area is about 2km^2. Basin slopes are very high (mean basin slope is 20%), they are main cause of rapid water level raise. The largest active landslide in Croatia is in the Slani potok catchment.

The second measurement profile is 200m downstream from the river Dubračina spring. The water balance of profile consist of springs Sitnik and Dubračina and surface flow from catchment area (area A ≈ 1km^2). Sitnk spring, which rarely dries up, makes the majority of discharges in the dry season. The area around the profile is wetland with significant retention capacity. This wetland determines runoffs from catchment.

The event runoff coefficient, defined as the portion of rainfall that becomes direct runoff during an event, is a key concept in hydrology and an important diagnostic variable for catchment response, particularly if a range of catchments and a range of events are to be compared by a single indicator. Slani potok runoff depends on the season of the year, basically because of the process of evaptranspiration.

Wetland area in the catchment area of Dubračina spring significantly affects the runoff, the mean runoff coefficients was smaller than 0.1 during the measurements.

KEY WORDS: Vinodol, runoff coefficient, torrential watercourses, wetlands

1. UVOD

U ovom radu analizirana su otjecanja na ušću Slanog potoka i rijeke Dubračine (pokraj izvora), na području Vinodola. Istraživanja su provedena u sklopu japansko-hrvatskog znanstvenog projekta *Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj.*

Tijekom istraživanja kontinuirano su mjereni vodostaji i temperature vode na dva profila, količina oborina i povremena hidrometrijska mjerenja.

Analizirani su koeficijenti otjecanja pojedinih kišnih epizoda, iz čega je istražen način reagiranja sliva na oborine različitih intenziteta tijekom godine. Proučavanjem varijabilnosti procesa otjecanja na prostornoj i vremenskoj skali moguće je odrediti mehanizme generiranja poplava i ovisnosti o vremenu i prostoru (Fiorentino and Iacobellis, 2001).

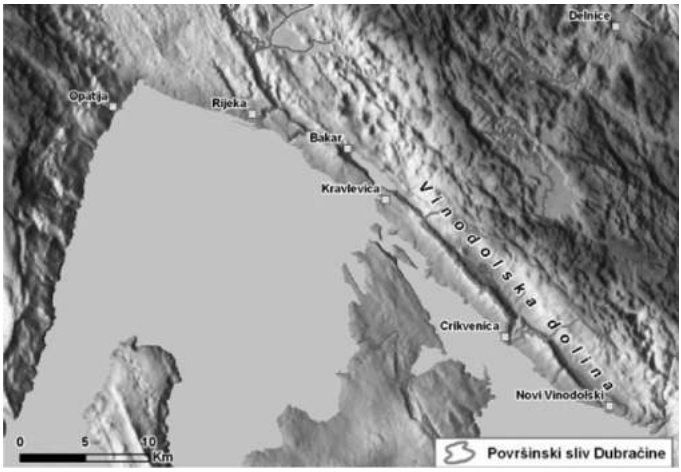
Koeficijent otjecanja pojedine kišne epizode, definiran kao kvocijent otekle i pale oborine tijekom kišne epizode, jedan je od važnijih parametara za određivanje i prognoziranje reakcije sliva na oborine (Merz and Blöschl, 2009).

U radu su uspoređena otjecanja bujičnog sliva (Slani potok) i sliva unutar kojega se nalazi zamočvareno područje koje ima velik utjecaj na otjecanje. Zamočvareno područje zaštićeno je važećom prostorno planskom regulativom (Županijski zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša (2004): *Prostorni plan područja posebnih obilježja Vinodolske doline.*). U ovom radu su obrađeni rezultati mjerenja od travnja do studenog 2010 godine. Radi se o preliminarnim mjerenjima iz kojih će se sagledati osnovne hidrološke karakteristike sliva, na osnovi kojih će se predložiti daljnja istraživanja i analize.

2. OPIS ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1 Geografski položaj analiziranih područja

Sliv Slanog potoka i izvora Dubračine, dio su sliva Dubračine koji se nalazi u središnjem dijelu Vinodolske doline, a izdvojena je geografska cjelina istočnog kvarnerskog prostora (A. Rubinić 2009.). U geografskom smislu Vinodol je jedinstvena prostorna cjelina između Križišća na sjeverozapadu i Novog Vinodolskog na jugoistoku te primorja uz Vinodolski kanal (*Slika 1.).*



Slika 1. Situacijski položaj sliva Dubračine

Na području Vinodolske doline nalaze se dva glavna vodotoka koja se ulijevaju u Jadransko more i to Dubračina u Crikvenici i Novljanska Ričina u Novom Vinodolskom. Na krajnjem sjevernom dijelu Vinodolske doline nalazi se i bujica Bakarački rov koja, za razliku od prethodno spomenutih vodotoka, ima naglašeniji bujični karakter s vrlo rijetkim pojavama tečenja u svom koritu. Sliv Dubračine je svojom neposrednom površinom i vodnom bilancom najveći i najznačajniji vodotok.

2.2 Geološka građa

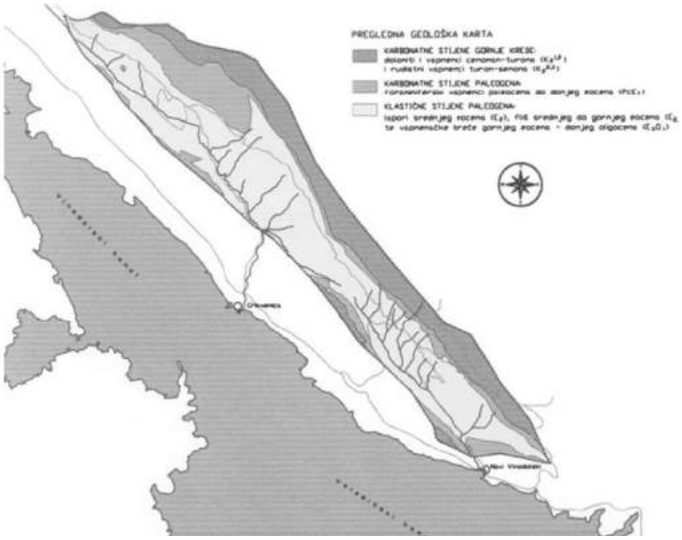
Prema podacima danim u *Prostornom planu područja posebnih obilježja Vinodolske doline* (Županijski zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša, 2004), a koji su preuzeti u nastavku, geološka građa analiziranog područja vrlo je složena.

Vinodolska dolina je krajnji jugoistočni dio veće morfološke cjeline koju osim te doline, tvore dolina Rječine, dolina Sušačke drage i depresija Bakarskog zaljeva. Sama Vinodolska dolina ima nepravilan eliptičan oblik najveće duljine do 23 km i širine do 4 km, te izlomljeno pružanje osnovnim smjerom SZ-JI. Sa sjeveroistočne strane Vinodolska dolina oštro je odvojena strmim padinama, čiji vrhovi mjestimice premašuju nadmorsku visinu od 700 m. Počevši od naselja Antovo prema jugoistoku, te padine poprimaju oblik gotovo vertikalnih litica visine preko 100 m. S jugozapadne strane dolina je odvojena od obala Vinodolskog kanala nižim primorskom bilom čiji vrhovi mjestimice imaju nadmorske visine 250 do 350 m. Cjelovitost primorskog bila je razbijena nizvodnim dijelom do-

lina Dubračine i Suhe Ričine Novljanske. Prijevojem kod naselja Križišće na sjeverozapadu, dolina je odvojena od depresije Bakarskog zaljeva. Prijevoj između naselja Saftići i Kričina dijeli samu Vinodolsku dolinu na veći sjeverozapadni i manji i jugoistočni dio, koji se postupno sužava i završava u zaleđu Novog Vinodolskog.

Vinodolska dolina ima u svom većem dijelu izrazito asimetričan poprečni profil s izrazito dužom sjeveroistočnom i znatno kraćom jugozapadnom padinom. Zato su najniže kote Vinodolske doline - korita Dubračine i Suhe Ričine Novljanske, smještene uz primorsko bilo. Veća zaravnjenja su sada potopljeni prostor oko Tribaljskog jezera kao i Velo polje kod Pavlomira.

U području Vinodolske doline nalaze se litološki vrlo različite naslage. Naslage, krednog i paleogenskog perioda su litificirane pa tvore sedimentne stijene karbonatnog i klastičnog tipa. Mlađe pliocenske i kvartarne naslage su djelomični ili potpuni pokrivač na starijim stijenama. Stijene krednog perioda pripadaju gornjokrednoj epohi: cenoman-turonu ($K_2^{1,2}$) i turon-senonu ($K_2^{2,3}$). Drugi dio sedimentnih stijena pripada paleogenskoj epohi: paleocenu do donjem eocenu (PcE_1), srednjem eocenu (E_2), srednjem-gornjem eocenu ($E_{2,3}$) i gornjem eocenu-donjem oligocenu (E_3O_1) (*Slika 2*.).

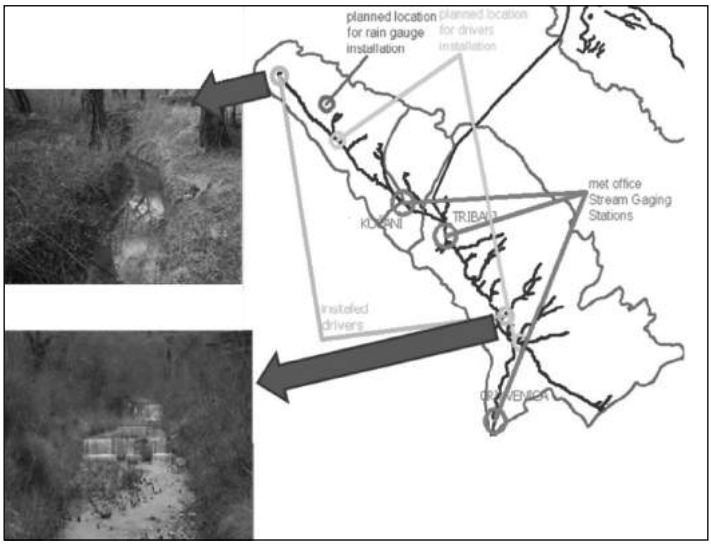


Slika 2. Pregledna geološka karta Vinodolske doline (Županijski zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša 2004.)

2.3 Opis uspostavljenih mjerenja

U sklopu istraživanja uspostavljena su stalna mjerenja vodostaja na dva hidrološka profila (Slani potok i izvor Dubračine) sa minutnom frekvencijom mjerenja vodostaja. Minutna frekvencija mjerenja je neophodna zbog bujičnog karaktera vodotoka, što je znatno otežalo obradu podataka. Vodostaji su mjereni tlačnim sondama Mini Diver proizvođača Schlumberger Water Services. Atmosferski pritisak je kompenziran podacima prikupljenim uređajem Baro Diver. Oborine su mjerene uređajem OTT-pluvio, razlučivosti

mjerenja visine oborina do jedne minute. Na Slici 3. prikazana je shema postavljene opreme. Udaljenost kišomjerne postaje od sliva Slanog potoka je osam kilometara što može uzrokovati određena odstupanja izmjerenih od stvarnih oborina u slivu. U daljnjim fazama projekta postavit će se veći broj meteoroloških, oborinskih i hidroloških stanica.



Slika 3. Shema instalacije opreme i prikaz mjerenih profila

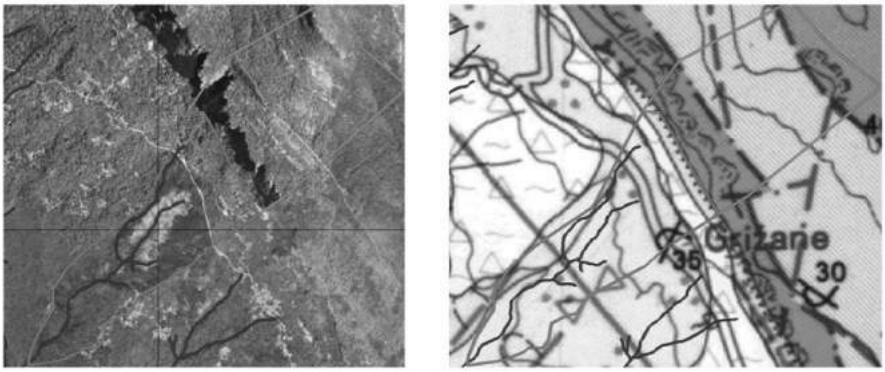
2.3.1. Slani potok

Sliv Slanog potoka površine je 2 km^2, pruža se od 50 do 700 m.n.m. (*Slika 4.)*. Donji dio sliva površine 0,9 km^2 prekriven je flišom, te čini glavninu površinskog otjecanja. Gornji dio sliva je većinom krška zaravan sa koje su otjecanja zanemariva. Zbog toga su koeficijenti otjecanja Slanog potoka računati sa površinom sliva od 0,9 km^2, koja odgovara površini prekrivenoj flišom. U zoni kontakta fliša i krša nalazi se više preljevnih izvora koji čine glavninu vodne bilance u sušnom razdoblju.

Sliv Slanog potoka je primjer kombiniranog djelovanja erozije. Teren zahvaćen pretjeranom (ekscesnom) erozijom ima dimenzije 600 m po osi i 250 m po širini. Popratne pojave oko žarišta erozije, kao i u njemu samom, brojna su klizišta kao posljedica trošenja matičnih stijena flišnoga kompleksa i pretvaranja stijene u inženjersko tlo. Zahvaćena površina je veličine oko 3 km¸ pa su ugrožena okolna naselja Belgrad, Baretići, Grižane i Kamenjak, kao i okolne ceste. Retencije su gotovo u potpunosti ispunjene nanosom, uglavnom muljem.

Flišni kompleks u slivu Slanog potoka sastavljen je od siltita i siltnih lapora s rijetkim proslojcima pješćenjaka. Obilježje materijala u žarištu je disperznost zbog prisutnosti cestica nanometarskih dimenzija i minerala sklonih bubrenju. To je razlog prekomjernoj erodibilnosti, kojoj pridonosi i tektonska deformiranost fliša. Tlo sadrži povećanu količinu otopljenog natrijevog iona u pornoj vodi, a indikator je mineral tenardit. Proces erodiranja zbiva se zbog prelaska koloidnih čestica gline u suspenziju u praktički stajaćoj vodi. Fenomen eflorescencije ili "cvjetanja" je posebno uočljiv tijekom sušnog razdoblja,

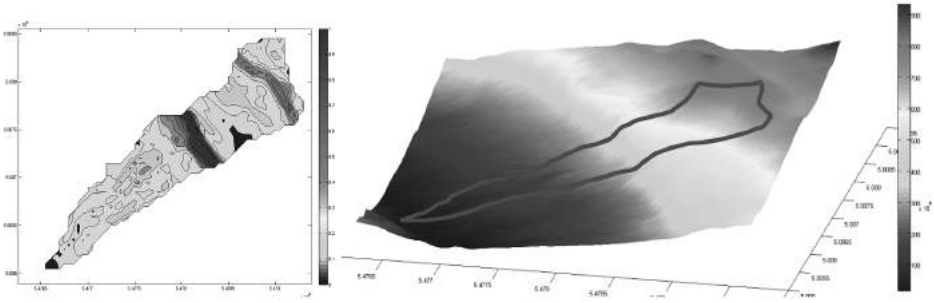
kada su na površini vidljive nakupine bijeloga praha koji je po sastavu mineral tenardit. Prah je gorko-slanog okusa što opravdava i naziv lokacije - Slani potok. Pokrivač na matičnoj stijeni (zona trošenja i padinske tvorevine) djeluje zaštitno. Međutim, jednom ogoljena flišna matična stijena ostaje dugotrajno izložena djelovanju atmosferilija, odnosno opetovanom vlaženju i sušenju, što vjerojatno uzrokuje promjenu obujma pojedinih litoloških članova fliša. Taj proces integrirano dovodi do premrežavanja stijene pukotinama sušenja kroz koje prodire padalinska voda. Konačna posljedica je razrahljivanje i razgradnja stijena, kao i njihovo postupno pretvaranje u inženjersko tlo (kategorije CW i RS). Tako nastao deluvijalni materijal ima svojstvo deformabilnosti plastičnim tečenjem, posebice kada je saturiran vodom. U određenim okolnostima te naslage su nestabilne pa nastaju klizišta slična onima na drugim lokacijama u Vinodolskoj dolini. Unatoč brojnim mjerama sanacije provodenih tijekom cijelog 20. stoljeća i dalje je izražen proces sveopće degradacije terena pa se navodi da stanje poprima svojstva "trajne elementarne nepogode" (Benac,Č., Jurak, V., Oštrić, M., Holjević, D. & Petrović, G. (2005))



Slika 4. Sliv Slanog potoka (orto-foto snimak (1:5000) i osnovna geološka karta (1:100000))

Srednji nagib sliva je 22%, nagibi se kreću u rasponu od 5% do 100% (*Slika 5*.), što sliv karakterizira kao veoma strm. Nagibi sliva determiniraju otjecanja i procese erozije. Vrijeme koncentracije sliva po Kirpichu je 15 minuta.

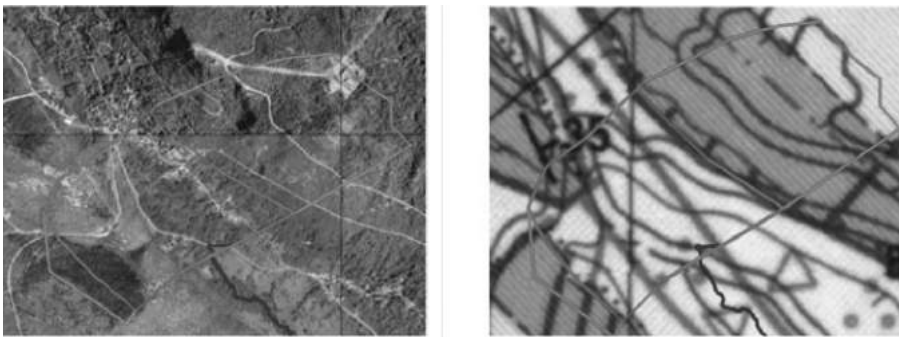
Ako se razmotri dio sliva na flišnoj podlozi srednji nagib sliva je 19%, vrijeme koncentracije je 9 minuta.



Slika 5. Karta nagiba sliva Slanog potoka.

2.3.2. Izvor Dubračine

Površina Sliva istraživanog profila na izvoru Dubračine je 0,9 km^2, od čega je 0,43 km^2 na flišnoj podlozi. Koeficijenti otjecanja određeni su na osnovi površine sliva u flišu. U zoni kontakta fliša i krša nalaze se izvor Dubračine i izvor Sitnik koji čine glavninu vodne bilance (*Slika 6*.).



Slika 6. Sliv Izvora Dubračine (orto-foto snimak (1:5000) i osnovna geološka karta (1:100000))

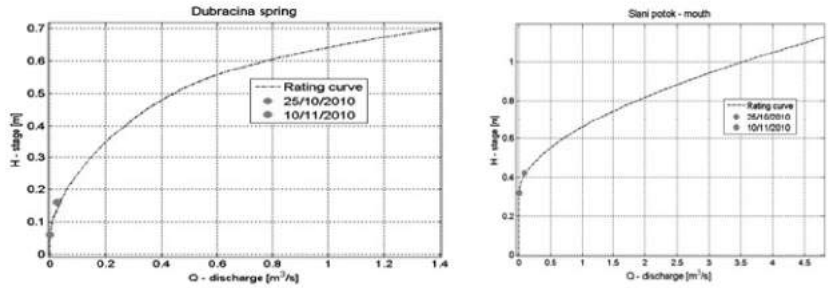
Srednji nagib sliva je 10%, vrijeme koncentracija sliva po Kiprichu je 9 minuta. Srednji nagib dijela sliva prekriven flišom je 6%, a vrijeme koncentracije iznosi 5 minuta.

Otjecanje ovog sliva na izvoru Dubračine determinirano je utjecajem zamočvarenog područja zapadno od mjernog profila (*Slika 7.*).

Slika 7. Zamočvareno područje na izvoru Dubračine

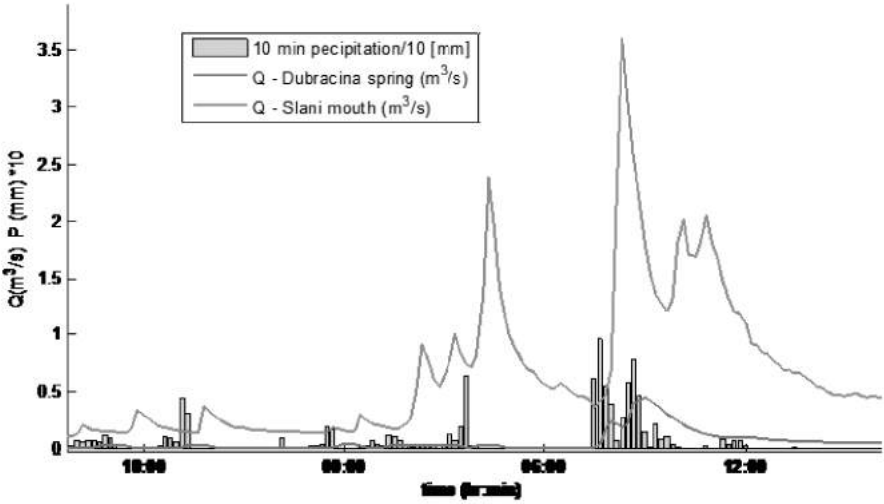
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Protoci mjerenih profila određeni su na osnovi konsumpcijskih krivulja, koje su konstruirane na osnovi mjerenja i hidrauličkih parametara profila (*Slika 8.*).



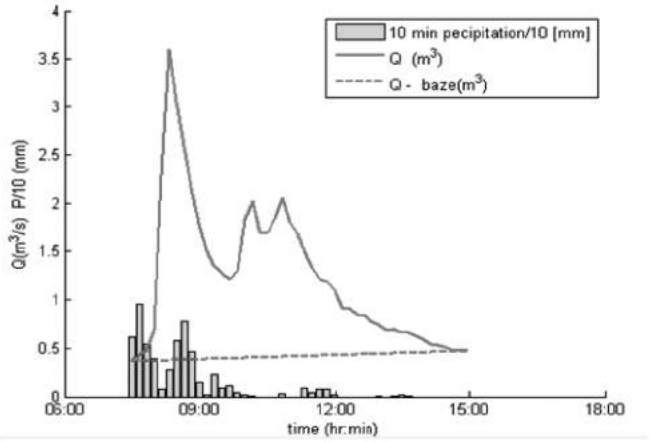
Slika 8. Konsumpcijske krivulje mjernih profila: Izvor Durbačine i Slani potok

Na *Slici 8*. prikazana je protočna krivulja i rezultati dva mjerenja protoka. Mjerenja pri većim protocima nisu napravljena zbog bujičnog karaktera vodotoka, te su moguća odstupanje vršnih protoka. O brzim prirastima vodostaja svjedoči zapis mjerenja dana 30.05.2010. godine, kada su protoke Slanog potoka porasle od 0,45 na 3,60 m^3/s za 18 minuta, a recesija hidrograma je također bila brza (*Slika 9.*).



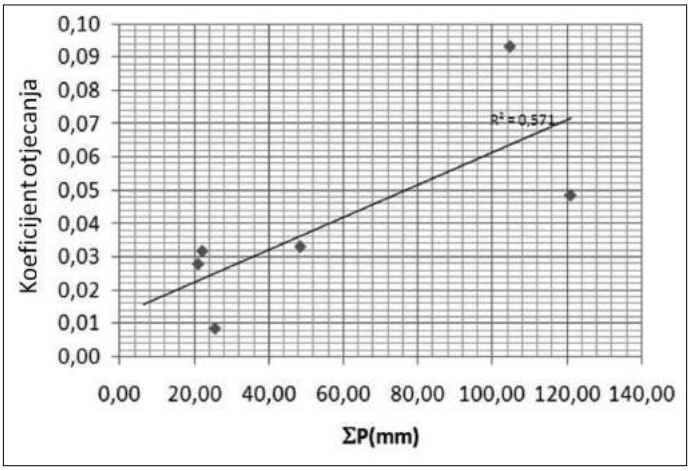
Slika 9. Hidrogram otjecanja i 10min intenziteti oborina mjerenih profila 30.05.2010. godine

Koeficijent otjecanja je definiran kao kvocijent otekle i pale oborine. Otekle oborine odnosno ukupne protoke mjernog profila tijekom pojedine kišne epizode određene su odvajanjem baznog od površinskog otjecanja na hidrogramu. Pala oborina određena je na osnovu zapisa oborina i površine sliva (*Slika 10*.). U ovom radu određeni koeficijenti otjecanja pojedine kišne epizode na osnovi površina donjih dijelova slivova koji su prekriveni flišom i imaju znatno veća otjecanja od gornjih dijelova sliva, koji su u kršu, kojeg karakterizira slabo ili nikakvo otjecanje.



Slika 10. Primjer hidrograma otjecanja i 10 min int. Oborina, Skani Potok 30.05.2010. godine

Koeficijenti otjecanja istraživanog profila na izvoru Duračine određeni su na primjeru 6 kišnih epizoda. Rezultati su prikazani na *Slici 11.*

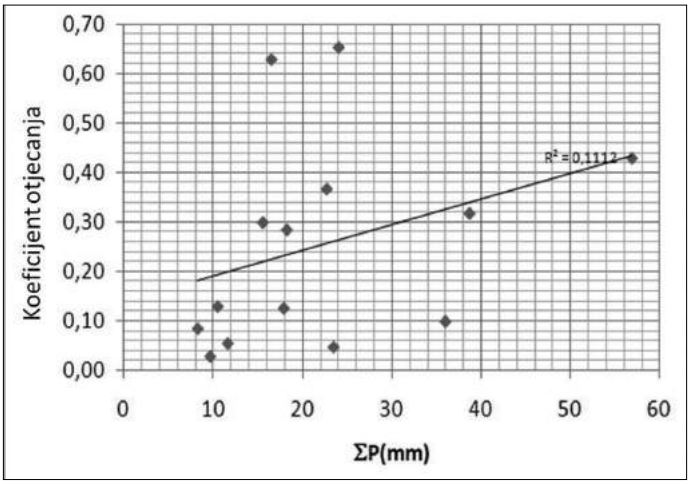


Slika 11. Koeficijenti otjecanja Izvora Dubračine

Koeficijenti površinskog otjecanja su veoma mali (do 0,10). Autori su najprije smatrali da je to rezultat greške u mjerenju odnosno obradi, no i nakon ponovljenih analiza rezultati su ostali isti, te se može zaključiti da su otjecanja mala zbog akumulacionog kapaciteta i evapotranspiracije zamočvarenog područja. U daljnjim istraživanjima preciznije će se odrediti koeficijenti površinskog otjecanja. Linearni regresijski model uspostavljen između koeficijenata otjecanja i oborina koje su izazvale otjecanja na izvru Dubračine pokazuje čvrstu vezu i daje koeficijent regresije R^2=0,57.

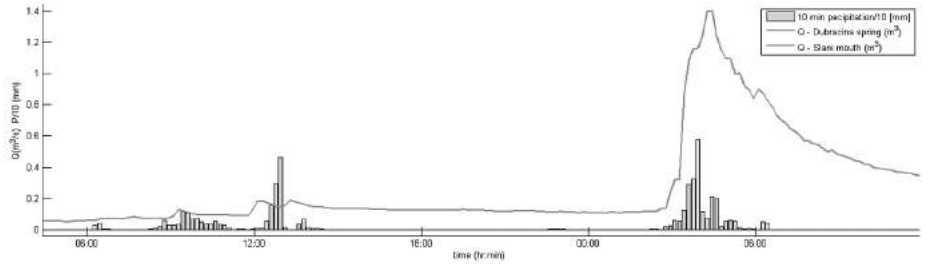
Koeficijenti otjecanja Slanog potoka određeni su na 13 kišnih epizoda. Koeficijenti

površinskog otjecanja ušća Slanog Potoka kreću se u rasponu od 0,03 do 0,70. *Slika 12.* prikazuje koeficijente otjecanja u ovisnosti o količini oborine kišne epizode.



Slika 12. Koeficijenti otjecanja Slanog Potoka

Najveće vrijednosti koeficijenta otjecanja Slanog potoka zabilježene su u studenom (19.11.2010.). Na *Slici 13.* prikazane su dvije kišne epizode, prva (18.11) je imala mali koeficijent otjecanja zbog prethodnog sušnog perioda. Tijekom druge kišne epizode (19.11.) palo je 24 mm oborina, tlo je bilo saturirano te je zabilježen koeficijent otjecanja 0,65.



Slika 13. Hidrogram otjecanja i 10 min int. oborina, Slani Potok 18-19.11.2010. godine

Najmanja vrijednost koeficijenta otjecanja zabilježena je 20.06.2010, iznosi 0,03. U tom je razdoblju evapotranspiracija vrlo visoka, a otjecanja se javljaju tek nakon obilnijih oborina.

Linearni regresijski model koeficijenata otjecanja i oborine koje su izazvale otjecanja na ušću Slanog potoka pokazuju slabu vezu i koeficijent regresije je R^2=0,12.

ZAKLJUČAK

Linearni regresijski model odnosa koeficijenata otjecanja i oborina koje su izazvale otjecanja na ušću Slanog potoka pokazuje slabu korelaciju ta dva parametra, dok je na izvoru Dubračine korelacija istih parametaradobra. Ta razlika uzrokovana je veličinom sliva, ali i udaljenosti meteorološke postaje od sliva Slanog potoka, koja iznosi 8 km.

Utjecaj vegetacije tijekom vegetativnog perioda na otjecanja Slanog potoka su značajna. To najbolje pokazuje koeficijent otjecanja tijekom oborinske epizode od 20 mm, koji je u lipnju 2010. iznosio 0,03, a u studenom 0,65. Otjecanja Slanog potoka ovise o sezoni ali i o ukupnim oborinama, odnosno saturiranosti tla. Najveće protoke na Slanom potoku tijekom spomenutih mjerenja od cca. 3,60 m^3/s, zabilježene su 30.5.2010. U slučaju da su te oborine pale tijekom kasne jeseni ili zime, velika je vjerojatnost da bi protoke i koeficijenti otjecanja bili znatno veći.

Vršni koeficijenti otjecanja na profilu izvora Dubračine su izrazito mali (do 0,10), vjerojatno posljedica retencionog kapaciteta zamočvarenog područja. Koeficijenti otjecanja dva istražena sliva trebala bi biti podjednaka uzimajući u obzir fizičke karakteristike slivnog područja. Naime, Slani potok ima veći, izduženiji i strmiji sliv, izvor Dubračina ima manji, blaži i zaobljeni sliv. Otjecanja sa manjih slivova u pravilu su veća. No na ovim primjerima razlike otjecanja su značajne, te istraženi sliv na izvoru Dubračine može biti ogledni primjer prirodnog sustava obrane od poplave malih slivova. Potrebno ga je kvalitetno istražiti, te poštovati prostorno plansku dokumentaciju po kojoj je to područje zaštićeno.

LITERATURA

[1] Benac, Č., Jurak, V., Oštrić, M., Holjević, D. & Petrović, G. (2005): *Pojava prekomjerne erozije u području Slanog potoka (Vinodolska dolina). –In: Knjiga sažetaka 3. Hrvatskog geološkog kongresa*, 173-174 (I.VELIĆ, I.VLAHOVIĆ & R.BIONDIĆ, eds.), Opatija, rujan 2005. Hrvatski geološki institut, Zagreb.

[2] Fiorentino, M., Iacobellis, V. (2001): *New insights into the climatic and geologic controls on the probability distribution of floods.* Water Resources Research 37 (3), 721–730.

[3] Grimani, I., Šušnjar, M., Bukovac, J., Milan, A., Nikler, J., Crnolatac, J., Šikić, I., Blašković, I. (1973): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 – list Crikvenica.* Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

[4] Merz, R., Blöschl, G. (2009): *A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria*. Water Resources Research. doi:10.1029/2008WR007163

[5] Rubinić, A. (2009): *Hidrologija sliva Dubračine*. Arhiva Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Rijeka, nepublicirano.

[6] Županijski zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša. (2000): *Prostorni plan Primorsko-goranske županije.* Stručna dokumentacija. Rijeka, nepublicirano.

[7] Županijski zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša. (2004): *Prostorni plan područja posebnih obilježja Vinodolske doline.* Stručna dokumentacija. Rijeka, nepublicirano.

Ovaj je članak nastao kao rezultat rada na Međunarodnom hrvatsko-japanskom znanstvenom *projektu Identifikacija rizika i planiranja korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj (Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia)*, Radna grupa za poplave i blatne tokove (Flash flood and debris flow working group) koju sa hrvatske strane vodi prof.dr.sc. Nevenka Ožanić sa Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, a sa japanske prof.dr.sc. Yousuke Yamashiki, DPRI, Kyoto University.

AUTORI

Igor Ružić, dipl.ing.građ. [a]

Ivana Sušanj, dipl.ing.građ. [a]

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić, dipl.ing.građ. [a]

mr. sc. Elvis Žic, dipl.ing.građ. [a]

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; Viktora Cara Emina 5; 51000 Rijeka,Hrvatska,
e-mail:{igor.ruzic, ivana.susanj, nozanic, elvis.zic}@gradri.hr;

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.18.

REŽIMI OBORINA I OTJECANJA NA PODRUČJU DALMATINSKIH SLIVOVA

Mladen Petričec, Mirjana Švonja, Ivana Ivanković, Vedrana Ričković

SAŽETAK: Vodni resursi dalmatinskih vodotoka imaju veliki gospodarski i društveni značaj, kako za regiju tako i za širu društvenu zajednicu. Dalmatinski vodotoci se odlikuju bogatstvom oborina i relativno visokim koeficijentom otjecanja. Svaka promjena režima protoka nesporno ima značajan gospodarski, socijalni ali i ekološki utjecaj. Prema podacima mjerenja posljednjih pedesetak godina, uočava se negativni trend količina godišnjih oborina i protoka na području Dalmacije, odnosno čitavom jadranskom slivu.

Istraživanja vezana za praćenje klimatskih promjena ukazuju na povišenje temperatura i na prostoru Hrvatske, što u određenoj mjeri može biti jedan od globalnih utjecaja na promjene količina oborina Dalmacije. S druge strane, prema hidrološkim istraživanjima, postoje ciklusi izmjene sušnijih i vodnijih razdoblja, što također ima utjecaja na konačnu ocjenu značajnosti trenda promjena. Na području Dalmacije identificirano je razdoblje porasta vodnosti do sredine šezdesetih godina, a zatim desetak godina relativno bogatih vodom i potom negativni trend količina oborina s postignutim apsolutnim minimum 1989. godine. Nakon tog razdoblja započinje stagnacija i/ili pozitivni trend količina oborina i protoka.

S obzirom na tradicionalno korištenje voda za vodoopskrbu, proizvodnju električne energije te navodnjavanje, ove promjene režima otjecanja imaju veliko značenje, koje je potrebno detaljnije istražiti, kvantificirati i uključiti u daljnje procese planiranja uređenja i korištenja voda.

U radu su prikazani rezultati analiza promjena temperatura zraka, količina oborina i otjecanja za nekoliko karakterističnih stanica, kako bi se pojasnio intenzitet tih promjena unutar razmatranog razdoblja 1961.-2009. godina, te protumačiti, kao dio ciklusa ili kao rezultata globalnih klimatskih promjena na Zemlji.

KLJUČNE RIJEČI: dalmatinski sliv, režim oborina, režim protoka, klimatske promjene.

PRECIPITATION AND RUNOFF REGIMES IN DALMATIAN RIVERS BASINS

SUMMARY: Water resources of Dalmatian watercourses have a large economic and social significance, both for the region and for the social community at large. Dalmatian islands are characterized by an abundance of precipitation and a relatively high runoff

coefficient. Each change of discharge regime undeniably has not only a significant economic and social, but also ecological impact. According to discharge measurement data from the past fifty years, there is an evident negative trend in annual precipitation quantities and discharge in the Dalmatian area. Besides Dalmatia, such negative trends are to a higher or lesser extent evident in the entire Adriatic basin.

Investigations related to monitoring of climate changes indicate increased temperatures in Croatia as well, which may, to a certain degree, be one of global impacts on the changes in precipitation quantities in Dalmatia. On the other hand, according to hydrological investigations, drier and wetter periods exchange in cycles, which also influences the final assessment of the significance of the change trend. In past investigations, a period of increase in water quantities was identified in Dalmatia until mid-1960s, followed by ten relatively water abundant years and a negative trend in precipitation quantities with the absolute minimum achieved in 1989. After this period, a stagnation and/or positive trend in precipitation and discharge quantities started.

Considering the traditional uses of water in water supply, power generation and irrigation, these changes in the runoff regime have a great significance, and require a more detailed investigation, quantification and inclusion in the future planning processes of water regulation and use.

The paper presents an analysis of changes in air temperatures, precipitation quantities and runoff at several representative stations with the aim to explain the intensity of these changes within the observed period of 1961-2009 and interpret these in the context of global climate changes.

KEY WORDS: Dalmatian River Basin, precipitation regime, discharge regime, climate changes

1. UVOD

Vodni resursi dalmatinskih vodotoka imaju veliki gospodarski i socijalni značaj za cijelu regiju i širu društvenu zajednicu. Na tom području kopnene površine oko 10.566 km^2, se ističu slivovi rijeke Zrmanje i Ličkog platoa, Ravnih Kotara i Vranskog jezera, rijeke Krke, rijeke Cetine, rijeka Jadro i Žrnovnice, rijeke Neretve, Imotskog polja i Dubrovačkog primorja. Prema bilanci voda iz Strategije upravljanja vodama (Hrvatske vode, 2009.), za koju su korišteni podaci 30-godišnjeg razdoblja (1961.-1990.), prosječna količina godišnje oborine na području dalmatinskih slivova iznosi 1.394 mm, prosječno otjecanje je 227 m^3/s, a prosječno specifično otjecanje 21,48 l/s/km^2.

Raspoloživi vodni resursi se koriste u prvom redu za vodoopskrbu stanovništva i industrije, proizvodnju energije, a sve više i za navodnjavanje, ribnjačarstvo, te rekreaciju i turizam. Stoga očuvanje kakvoće voda i vodnog okoliša dalmatinskih vodotoka ima poseban značaj. Osim vodoopskrbe, kao najvažnijeg korisnika, prema količinama vode posebno se ističe hidroenergetika. Najznačajniji hidroenergetski sustavi su izgrađeni na slivu rijeke Cetine (HE Peruća, HE Đale, HE Kraljevac, HE Zakučac, HE Orlovac), na slivu rijeke Krke (HE Miljacka, HE Jaruga, HE Roški Slap, HE Golubić, MHE Krčić) i na slivu rijeke Zrmanje (HE Velebit). Za poljoprivrednu proizvodnju na području Dalmacije svakako je najvažnije korištenje voda na području Donje Neretve, Imotskog polja

i Vrgoračkog polja.

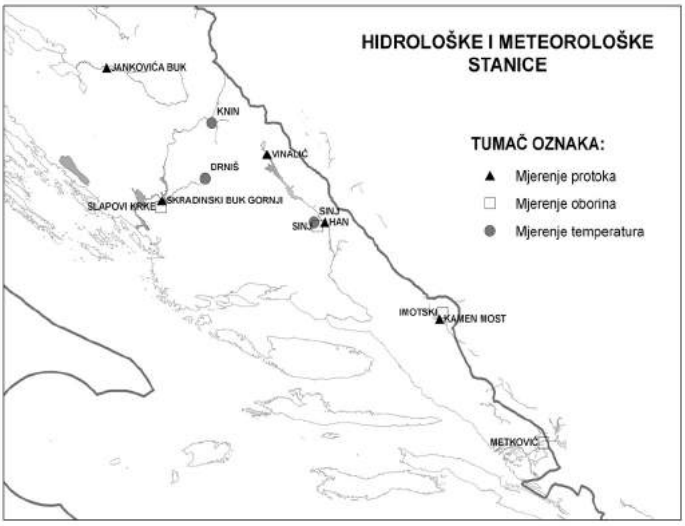
Hidrološke analize raspoloživih nizova mjerenja protoka i oborina s dalmatinskih slivova (Petričec i suradnici, 2007.) pokazuju negativne trendove na svim obrađenim meteorološkim i hidrološkim stanicama. Negativan trend oborina potvrđuje i Izvješće o klimatskim promjenama na području Hrvatske (MZOPUG, 2006). Ukupne godišnje oborine na području Hrvatske u razdoblju 1961.-1990. godina imaju negativan trend, koji pokazuje prosječno smanjenje oborina u iznosu od 7 mm godišnje.

Promjene oborinskog režima imaju utjecaja na veličinu, vrijeme pojavljivanja, čestinu i intenzitet poplava i suša. Pojava smanjenja količina oborina nije značajka samo slivova u Hrvatskoj što pokazuju rezultati istraživanja (MZOPUG, 2006) na temelju kojih je konstatirano globalno smanjenje srednjih protoka rijeke Dunava u razdoblju 1921.- 2001. godina u iznosu od 6,2 m^3/s na godinu. U navedenom razdoblju uočen je trend porasta protoka do 1942. godine, stagnacija od 1943. do 1983. godine i opadanje do 1992. godine, kada ponovno dolazi do stagnacije i laganog porasta.

Jedan od najvažnijih pokretača promjena oborinskog režima i otjecanja su svakako i promjene temperatura na Zemlji. Prema podacima izvješća (WMO-UNEP, 2007.) u razdoblju 1961.- 1990. konstatiran je pozitivan trend temperatura na Zemlji, koji se kretao oko 0,01 do 0,012 ^oC godišnje. Da se radi o povećanju prosječnih godišnjih temperatura zaključeno je na temelju obrade podataka 5 meteoroloških stanica (Osijek, Zagreb, Gospić, Crikvenica, Hvar) na području Hrvatske, gdje su analizirane promjene od 1901. do 2008. godine (DHMZ, 2009). Što se tiče oborinskog režima, na svim razmatranim stanicama zabilježen je negativan trend prosječnih godišnjih oborina u razdoblju 1901.-2008. godina. Analize oborina po godišnjim dobima pokazuju negativni trend količina oborina u ljetnom razdoblju samo na meteorološkoj stanici Crikvenica, dok je na svim ostalim stanicama trend pozitivan ili u stagnaciji. Najveći pozitivan trend oborina u ljetnom razdoblju je na stanici Hvar.

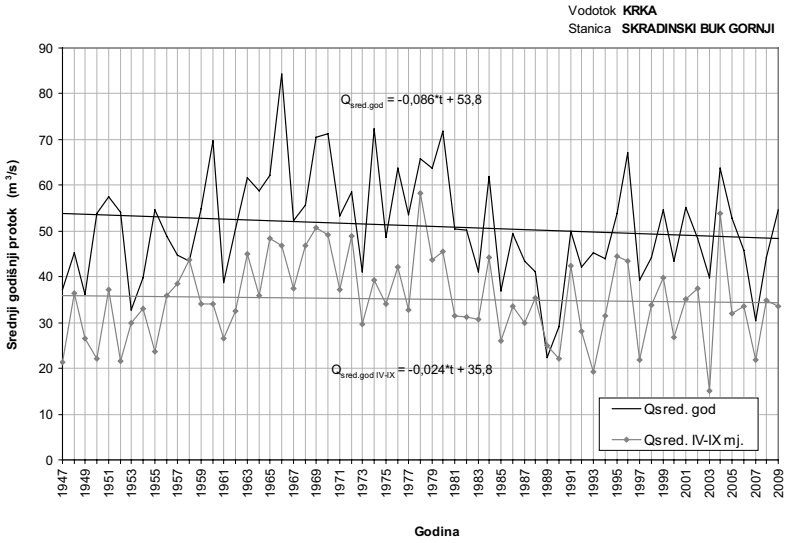
2. TRENDOVI TEMPERATURA, OBORINA I OTJECANJA

Uvažavajući opće pokazatelje promjena temperatura zraka, oborina i protoka, na području Dalmacije odabrano je nekoliko stanica za njihovu provjeru i utvrđivanje općih značajki. Prostorni raspored meteoroloških i hidroloških stanica za analizu prikazan je na slici 1. Kod izbora stanica uvažavana je duljina mjerenja, što dulji neprekinuti niz podataka, pouzdanost podataka, prostorna raspodjela i slično. Također se vodilo računa o značaju mjerenih protoka za gospodarstvo. Od raspoloživih 75 na kojima se mjeri protok, kao stanice koje reprezentiraju režime najvažnijih dalmatinskih vodotoka odabrane su: hidrološka stanica Jankovića buk na rijeci Zrmanji, Vinalić i Han na rijeci Cetini, Skradinski Buk na Krki i Kamenmost na Vrljici. Odabrane stanice imaju podatke iz različitih razdoblja, a na većini njih su mjerenja protoka sustavno započela pedesetih godina prošlog stoljeća. Iako je kod nekih od odabranih stanica bilo prekida u mjerenjima, uključene su u analize radi značaja samog vodotoka (rijeka Zrmanja) ili činjenice da reprezentiraju prirodno otjecanje (na rijeci Cetini samo jedna stanica to omogućava). S druge strane mjerenja protoka u vegetacijskom razdoblju na hidrološkoj stanici Han pokazuju dosadašnji utjecaj režima korištenja akumulacija Peruća i Buško blato.



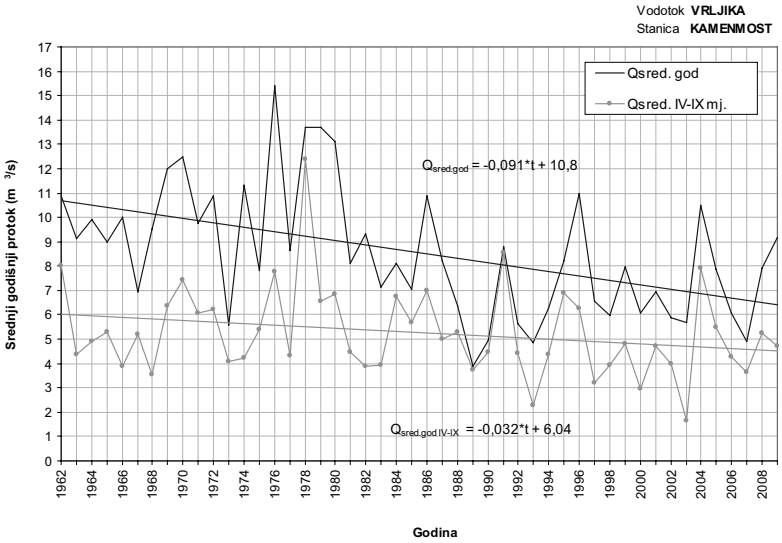
Slika 1. Prostorni položaj odabranih stanica

Rezultati analiza nizova protoka na odabranim hidrološkim stanica pokazuju negativni linearni trend srednjih protoka, kako za godišnje, tako i za vegetacijsko razdoblje. Veličine koeficijenata regresije (nagib pravaca) za odabrane stanice prikazane su u Tablici 1. Najveći negativni trend (koeficijent smjera pravca regresije) srednjih godišnjih protoka se javlja na stanici Han na rijeci Cetini, a najmanji na Jankovića Buku na rijeci Zrmanji. Kao što se vidi u tablici 1, tijekom vegetacijskog razdoblja negativni trendovi su značajno manji.



Slika2. Hidrogram i trend protoka u razdoblju 1947.-2009. godina na stanici Skradinski buk gornji

Za ilustraciju na slikama 2 i 3 prikazani su pravci regresije srednjih protoka (godišnje i vegetacijskog razdoblja) za nizove sa stanica Skradinski Buk gornji i Kamenemost.

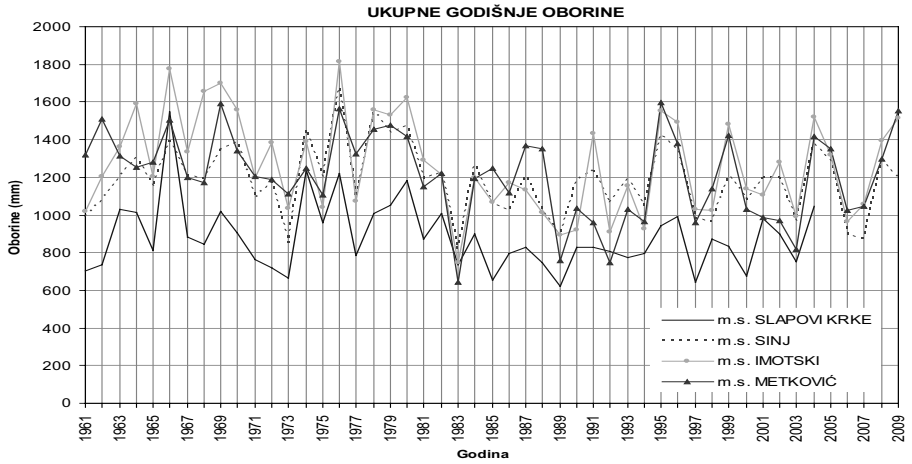


Slika 3. Hidrogram i trend protoka u razdoblju 1962.-2009. godine na stanici Kamenmost.

Na slici 2 se uočava da je maksimalni srednji godišnji protok ostvaren 1966. godine, a minimalni 1989. godine. Niz je na granici homogenosti prema testu Kolmogorov-Smirnova, a trend značajan na razini povjerenja 95%, prema Kendall-Stuartu.

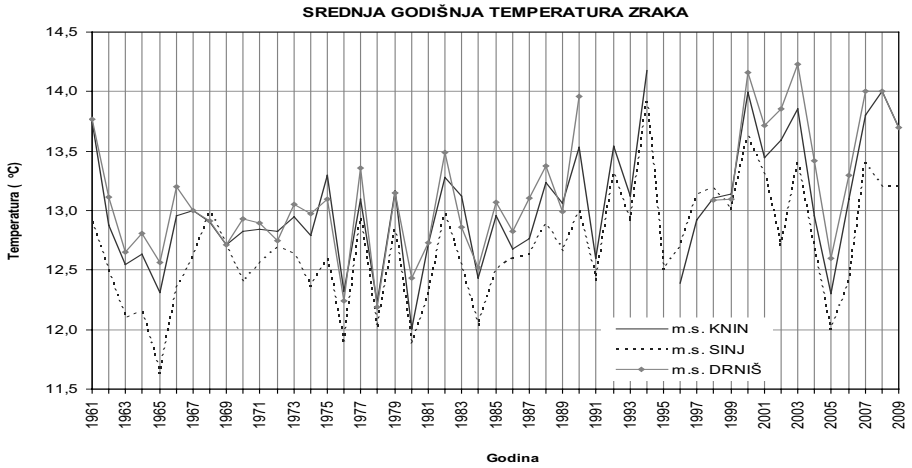
Hidrogram i trend srednjih godišnjih protoka i srednjih protoka vegetacijskog razdoblja za stanicu Kamnemost na rijeci Vrljici, prikazan je na slici 3. Niz je nehomogen sa značajnim trendom na razini 95% sigurnosti. Maksimalni srednji godišnji protok u razdoblju 1962. – 2009. godina zabilježen je 1975. godine, a minimalni protok 1989. godine. Također se uočava manji negativan trend srednjih protoka vegetacijskog razdoblja.

Trendovi ukupnih godišnjih oborina prikazani su na slici 4. Za nizove oborina na svim stanicama utvrđen je negativan trend u razdoblju 1961.-2009. godine. Veličine koeficijenata regresije (nagib pravaca) godišnjih oborina i oborina u vegetacijskom razdoblju, prikazani su u tablici 2. Najveći negativan trend godišnjih oborina zabilježen je na stanici Imotski (-4,74 mm/godina), a najmanji na stanici Sinj (.-2,6 mm/godina).



Slika 4. Godišnji hod oborina na meteorološkim stanicama Dalmacije

Kao i kod protoka, negativan trend oborina u vegetacijskom razdoblju je znatno blaži npr. na stanici Imotski trend je blago pozitivan (+0,19 mm/godinu), dok je najveći negativan trend na stanici Metković (-1,64 mm/godinu).



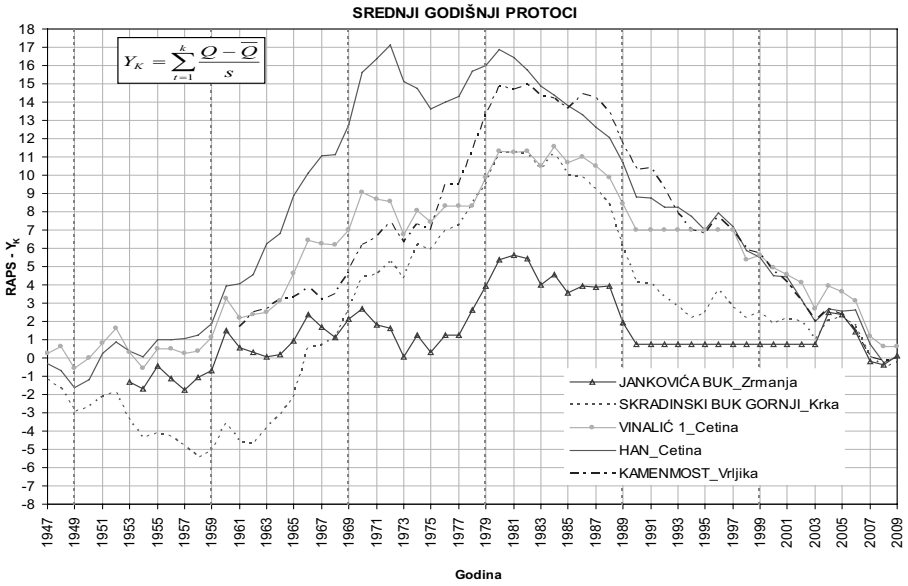
Slika 5. Godišnji hod temperatura zraka na meteorološkim stanicama Dalmacije

Za razliku od protoka i oborina, koje u razdoblju 1961.- 2009. godina imaju negativan trend, srednje godišnje temperature, prikazane na slici 5, imaju pozitivan trend. Prema veličinama koeficijenta pravca regresije, u tablici 3, najveći pozitivan trend je zabilježen na stanici Sinj i iznosi 0,017 °C/godinu.

Trend porasta temperatura u ljetnom razdoblju, je značajniji nego na godišnjoj razini. Za usvojeno razdoblje i odabrane stanice kreće se od 0,022 – 0,026 °C/godinu.

3. ANALIZA REŽIMA OBORINA I PROTOKA

Osim analize prosječnog trenda u razdoblju, moguće je istražiti unutarnje promjene režima temperatura, oborina i protoka. Za vizualizaciju promjena primijenjena je RAPS metoda (Rescaled Adjusted Partial Sums), koja je korištena u više radova, primjerice (Bonacci i drugi, 2008.). Grafički prikaz temeljen na RAPS metodi omogućuje identifikaciju promjena vremenskog niza, koje nisu uočljive na jednostavnoj vremenskoj skali.



Slika 6. Prikaz RAPS-a srednjih godišnjih protoka (1947.-2009.)

Na slici 6 dan je grafički prikaz rezultata obrade srednjih godišnjih protoka korištenjem RAPS metode. Generalno postoje dva razdoblja, prvo s protocima većim od prosjeka, koje, kod većine nizova završava 1980. godine i drugo s manjim protocima od prosjeka, koje s većim ili manjim intenzitetom traje sve do 2009. godine. Poremećaj na stanci Han od 1972.-1975. godine u vidu smanjenja protoka je posljedica izgradnje sustava HE Orlovac i akumuliranja vode u Buško jezero. Horizontalni prikazi za pojedina razdoblja na stanicama Janković buk i Vinalić 1, su posljedica prekida mjerenja.

Unutar razmatranog razdoblja može se izdvojiti nekoliko karakterističnih promjena. Do 1961. godine prisutna je stagnacija odnosno protoci su približno jednaki prosječnim. Od sredine devedesetih se javljaju razdoblja povremene stagnacije ili povećanja protoka, ali generalno je prisutan negativni trend. Posljednjih nekoliko godina (nakon 2007.) prisutna je stagnacija ili lagani porast protoka.

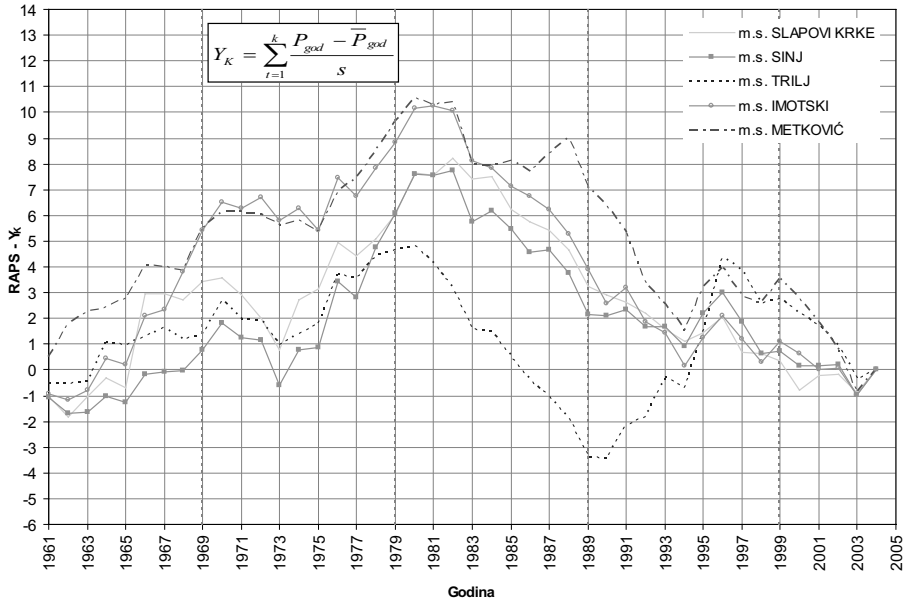
U tablici 1 dani su podaci o općem trendu i srednji protoci u čitavom razdoblju, tijekom vodnijeg razdoblja i nakon toga.

Vodotok i stanica	Raspoloživa mjerenja	Srednji protok (m3/s)			Ukupni trend
		1953.- 2009.	1953.- 1980.	1981.- 2009.	m3/s/godinu
Zrmanja/ Jankovića Buk*	1953.-2009.	37,2/21,2	38,9/21,9	34,4/19,8	-0,0591/-0,0528
Cetina/Vinalić*	1947.-2009.	11,7/9,02	12,7/9,42	10,4/8,47	-0,046/-0,0197
Cetina/ Han	1947.-2009.	57,3/47,7	64,6/53,2	48,8/41,3	-0,334/-0,171
Krka/Skradinski buk gornji	1947.-2009.	51,1/35,03	55,04/37,33	46,4/32,3	-0,086/-0,024
Vrljika/Kamenmost	1962.-2009.	8,54/5,26	10,5/5,94	7,25/4,81	-0,091/-0,032

**Prekid mjerenja 1990.-1997. godine*

Tablica 1. Značajke godišnji protoka – srednji godišnji/srednji vegetacijskog razdoblja

Prema rezultatima RAPS analize nizova godišnjih oborina, na slici 7, ističu se dva razdoblja na većini stanica. Prvo razdoblje od 1961. godine do približno 1980. ima oborine veće od prosjeka. Od 1980.- 1982. godine prisutna je stagnacija oborina tj. oborine su približno jednake prosječnim.



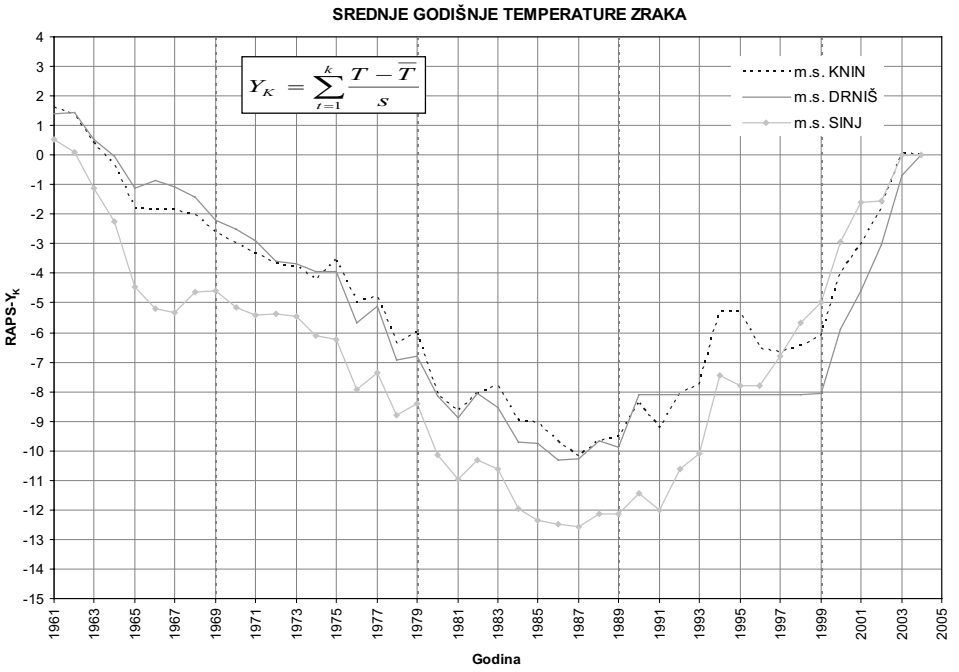
Slika 7. Prikaz RAPS-a niza ukupnih godišnjih oborina (1961.-2004)

Od odabranih nizova jedino odstupa RAPS prikaz za stanicu Trilj, gdje se pokazuje povećanje oborina u razdoblju 1990. do 1996. godine. Kao i kod protoka uočava se nekoliko kraćih razdoblja stagnacije ili porasta oborina trajanja 5 do 7 godina, ali koji ne remete opće trendove. Kao što se vidi na slici intenzitet smanjivanja količina oborina je od 1994. godine umanjen, čak se može reći da stagnira u pojedinim kraćim razdobljima.

Stanica	Raspoloživa mjerenja	Prosjek godišnjih oborina (mm/godinu)			ukupni trend
		1961.-2004.	1961.-1982.	1983.-2004.	mm/godinu
Slapovi Krke	1961.-2004.	884/374	953/393	816/355	-3,095/-0,612
Sinj	1961.-2009.	1184/489	1259/507	1124/456	-2,603/-0,850
Imotski		1265/435	1389/453	1165/420	-4,74/0,191
Metković		1211/405	1316/450	1126/367	-4,64/-1,643

Tablica 2. Značajke sumarnih oborina – godišnje/ vegetacijskog razdoblja

Grafički prikaz RAPS analize srednjih godišnjih temperatura zraka za nizove na odabranim stanicama Dalmacije, pokazuje suprotne trendove u odnosu na oborine i protoke. Prema prikazu na slici 8, srednje godišnje temperature na 3 odabrane stanice su niže od prosjeka približno do 1987. godine, a nakon kraćeg razdoblja stagnacije, započinje kontinuirani porast s kraćim poremećajima sve do 2009. godine. Prekid u mjerenjima temperatura na stanici Drniš u razdoblju 1991. do 1997. godine, prikazan je na slici horizontalnom linijom.



Slika 8. Prikaz RAPS niza srednjih godišnjih temperatura zraka (1961.-2004.)

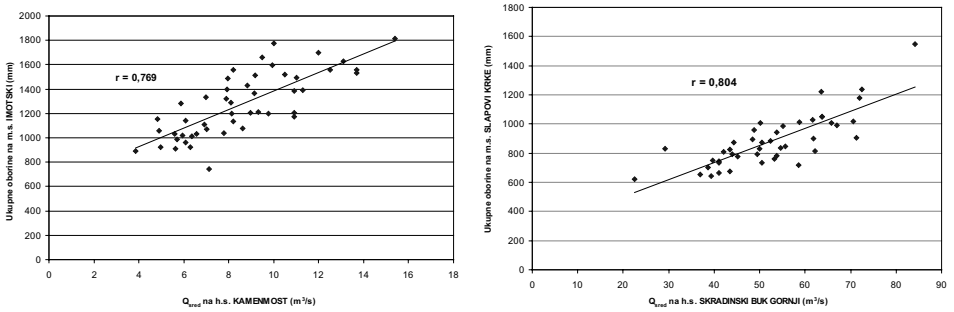
Značajke prosječnih temperatura u pojedinim od navedenih razdoblja, zajedno s općim trendom, dane su u tablici 3. Razlike prosječnih temperature za karakteristična hladnija i toplija razdoblja kreću se od 0,2 – 0,3 °C.

Stanica	Raspoloživa mjerenja	Prosječne temperature u razdoblju (°C)			Ukupni trend
		1961.-2009.	1961.-1987.	1988.-2009.	°C/godinu
Knin	1961.-2009.	13,0/18,8	12,8/18,5	13,3/19,1	0,016/0,022
Sinj		12,7/18,4	12,5/18,1	13,0/18,8	0,017/0,026
Drniš*		13,1/18,9	12,9/18,6	13,6/19,4	0,005/0,024

**prekid mjerenja 1991.-1997.*

Tablica 3. Značajke srednjih temperatura - godišnje/vegetacijsko razdoblje

Za ilustraciju povezanosti oborina i protoka, na odabranim meteorološkim i hidrološkim stanicama, dan je grafički prikaz korelacijske veze oborina i protoka. Na slici 9 dan je prikaz linearne korelacijske veze srednjih godišnjih oborina i protoka za odabrane stanice na rijeci Krki i Vrljici. Veličina koeficijenta korelacije od približno 0,8 omogućava uspostavu određenih zakonitosti.



Slika 9. Odnos godišnjih oborina i srednjih protoka na slivu Krke i Vrljike

ZAKLJUČAK

Prema provedenim analizama može se zaključiti da je u razdoblju od 1961. do 2009. godine na području Dalmacije zabilježen pozitivan trend temperatura, a negativni trendovi oborina i otjecanja. Prema tome dugoročno je na području Dalmacije prisutno smanjenje količina oborina i otjecanja. Razlike protoka vodnijeg (1961.- 1980.) i sušnijeg razdoblja (1981.- 2009.) iznose od najmanje 13% na stanici Jankovića buk, do 32% na stanici Han i 44% na stanici Kamenmost. Iako se dio smanjivanja dotoka može tumačiti i kao posljedica antropoloških utjecaja (izgradnja akumulacija) općenito je na području Dalmacije prisutno smanjivanje količina oborina i otjecanja.

Trendovi nizova oborina na svim odabranim meteorološkim stanicama i trendovi srednjih protoka na većini hidroloških stanica (osim Janković buka) su negativni i veći na godišnjoj razini od vegetacijskog razdoblja. Proizlazi da je do smanjenja otjecanja u najvećoj mjeri došlo tijekom zimskog razdoblja. Takav zaključak je sukladan izvješću (DHMZ, 2009.).

Značajniji porast srednjih godišnjih temperatura zraka se dešava nakon od 1987. godine,

što je sukladno zaključcima u članku (Bonacci, 2008.). Prosječne temperatura u tom razdoblju „hladnijeg“ i „toplijeg“ razdoblja se razlikuju za 0,5 °C. Nakon 1988. zabilježeno je nekoliko godina s nižim temperaturama od prosjeka, ali koje bitno ne remete trend općeg porasta temperatura.

Ukoliko sljedećih nekoliko godina ne dođe do povećanja oborina, moći će se s velikom pouzdanošću prihvatiti ocjene o utjecaju klimatskih promjena na smanjenje vodnosti područja Dalmacije. U tom slučaju utvrđene negativne trendove otjecanja, svakako treba respektirati u planiranju dugoročnog uređenja i korištenja dalmatinskih vodotoka.

LITERATURA

[1] Bonacci O., (2010.): *Temperature zraka u Hrvatskoj,* Građevinar, (62/9), od 781 do 791.

[2] Bonacci O., Trninić D., Roje-Bonacci T., (2008.): *Analysis of the Water Temperature regime of the Danube and its Tributaries in Croatia*, Hydrological Processes, 22 (2008) 7, 1014-1121.

[3] Gajić Čapka M., Cesarec K., (2010.): *Trend i varijabilnost protoka i klimatskih veličina u slivu rijeke Drave,* Hrvatske vode, (18/71), od 19- do 30.

[4] Državni hidrometeorološki zavod RH - Služba za meteorološka istraživanja i razvoj, (2009.): *Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji o promjeni klime* (UNFCCC)

[5] Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva RH, (2006.), *Drugo, treće i četvrto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjene klime* (UNFCCC)

[6] Petričec M. i suradnici, (2007.): *Male vode Dalmacije*, 4. Hrvatska konferencija o vodama (Gereš D.), Hrvatske vode , Zagreb, str. 193--201.

[7] Petričec M., Grgić B., (1993.): *Hidrološke prilike i proizvodnja električne energije hidroelektrana u Hrvatskoj*, Okrugli stol o suši (Bonacci O.), Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, od 53 do 62.

[8] Hrvatske vode (2009.): Strategija upravljanja vodama.

[9] WMO-UNEP, (2007.): *Promjene klime 2007.: Fizička osnova*, Međuvladino tijelo za klimatske promjene (IPCC), *www.klima.mzopu.hr*

AUTORI

Dr. sc. Mladen Petričec[1]
mr. sc. Mirjana Švonja[2]
Ivana Ivanković[3]
Vedrana Ričković[3]

[1] Tehničko veleučilište u Zagrebu

[2] Hrvatske vode,

[3] Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d. Zagreb

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.19.

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA PROTOK OMBLE

Ranko Žugaj, Željko Andreić

SAŽETAK: Za projektiranje buduće HE Ombla kod Dubrovnika, mjerodavni su podaci iz hidrološkoga profila Komolac na rijeci Ombli. U radu su prikazani i međusobno uspoređeni glavni hidrološki i meteorološki parametri i dani odgovarajući grafički prikazi za različita razdoblja: od 1951. do 1980., pa od sadašnje izgrađenosti sliva do prekida motrenja i mjerenja radi Domovinskoga rata (1981.-1990.) te nakon ponovnoga uspostavljanja motrenja i mjerenja (1993.-2008.). Na osnovi razmatranja nizova godišnjih oborina i protoka u razdoblju od 1951. do 2008., krivulja trajanja protoka i odgovarajućih krivulja raspodjela, ustanovljeno je da nema značajnih promjena u vodnom režimu Omble nakon 1993. godine.

KLJUČNE RIJEČI: vodni režim, protok, krivulja trajanja protoka, velika voda, mala voda, HE Ombla, Dubrovnik

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES TO WATER REGIME OF OMBLA

SUMMARY: For designing the future HPP Ombla near Dubrovnik, the data from hydrological profile of Komolac on the river Ombla are applicable. In the paper the main hydrological and meteorological parameters and corresponding graphical presentations for different periods: from 1951 to 1980 and from present construction of the basin to interruption of monitoring and measuring due to the Patriotic War (1981-1990) and after the re-establishing of mionitoring and measuring (1993-2008) are presented and compared. Based on the analysis and through consideration of annual precipitation and flows in the period from 1951 to 2008, the curves of flow duration and corresponding curves of distribution, it has been established that there have no significant changes in the water regime of Ombla after 1993.

KEY WORDS: water regimen, discharge, flow-duration curve, high water, low water, HPP Ombla, Dubrovnik

1. UVOD

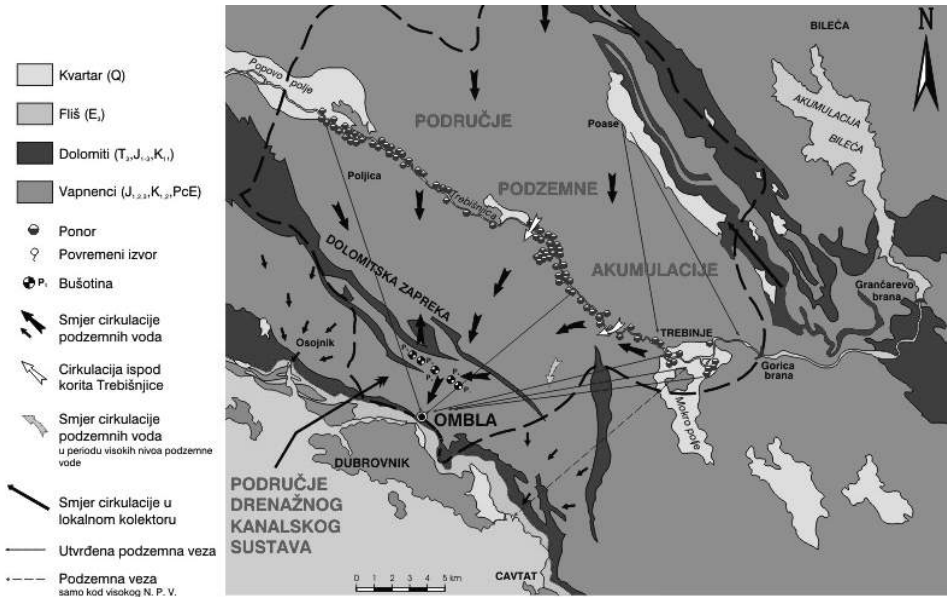
Pojam recentne (skorašnje) *klimatske promjene* veže se na promjene u posljednjih 100 godina i one koje slijede pod ljudskim utjecajem. Pritom se najčešće misli na porast temperature na Zemlji. Međutim, te promjene su povezane i s promjenama drugih klimatskih parametara i posljedično s promjenama hidroloških komponenti. Raspoloživost dugogodišnjim historijskim podacima za potrebe utvrđivanja klimatskih promjena često predstavlja ograničenje. U posljednje vrijeme niz istraživanja za područje Europe usmjereno je na razdoblje od sredine 20. stoljeća (Frich i drugi, 2002).

Takav pristup razmatranju klimatskih promjena pogoduje zaključivanjima u ovom radu, jer se radi o području na kojem se ne raspolaže s nizovima podataka duljim od 58 godina. Unutar toga razdoblja izdvojeno je najnovije razdoblje od 1993. do 2008. godine za koje se razmatra jesu li nastupile određene promjene u smislu smanjenja dotoka Omble.

Buduće podzemno akumulacijsko jezero za HE Ombla, u zaleđu izvora Omble, trebalo bi osigurati vode raspoložive za višenamjensko korištenje, pod čime se misli na energetiku i vodoopskrbu. Planiranom injekcijskom zavjesom predviđa se ostvariti uspor od 130 m n.m. Za HE Ombla je predviđen instalirani protok Q_i = 60,0 m^3/s, instalirana snaga od 68,5 MW i prosječna godišnja proizvodnja električne energije 223 GWh (Sever, 1998).

Za hidrološke podloge HE Ombla mjerodavni su podaci iz hidrometrijskoga profila Komolac na Ombli, koji je osnovan 1952. godine. Ombla sve svoje vode dobiva zahvaljujući poniranju vode u slivu Trebišnjice. U ranijem, neporemećenom stanju na slivu, veličina utjecajnoga sliva Omble bila je procijenjena na oko 900 km^2.

Hidrotehnički zahvati na slivu Trebišnjice: izgradnja akumulacijskih jezera Bileća i Gorica (za HE Dubrovnik) te oblaganje korita Trebišnjice betonom nizvodno od brane Gorica (za PHE Čapljina), znatno su smanjili dotoke vode u Omblu. Tako se srednji protok Omble - koji je, prema ranijim podacima, u razdoblju (1962.-1966.) prije izgradnje na slivu iznosio SQ = 36,3 m^3/s - smanjio, prema podacima iz razdoblja (1969.-1980.), nakon izgradnje akumulacijskoga jezera Bileća i HE Dubrovnik, na SQ = 30,0 m^3/s. U razdoblju (1981.-1990.), kada se je, s obzirom na izgradnju na slivu, stanje stabiliziralo, srednji je protok iznosio SQ = 21,9 m^3/s. Nakon prekida motrenja i mjerenja, radi Domovinskoga rata 1991. i 1992. godine, srednji je protok Omble u profilu Komolac u razdoblju (1993.-2008.), iznosio SQ = 24,3 m^3/s. Veličina utjecajnoga sliva Omble, za sadašnje stanje na slivu procijenjena je na oko 600 km^2, a utjecajni je sliv prikazan na slici 1.



Slika 1. Sliv Omble, preuzeto od Juračić (2006/07)

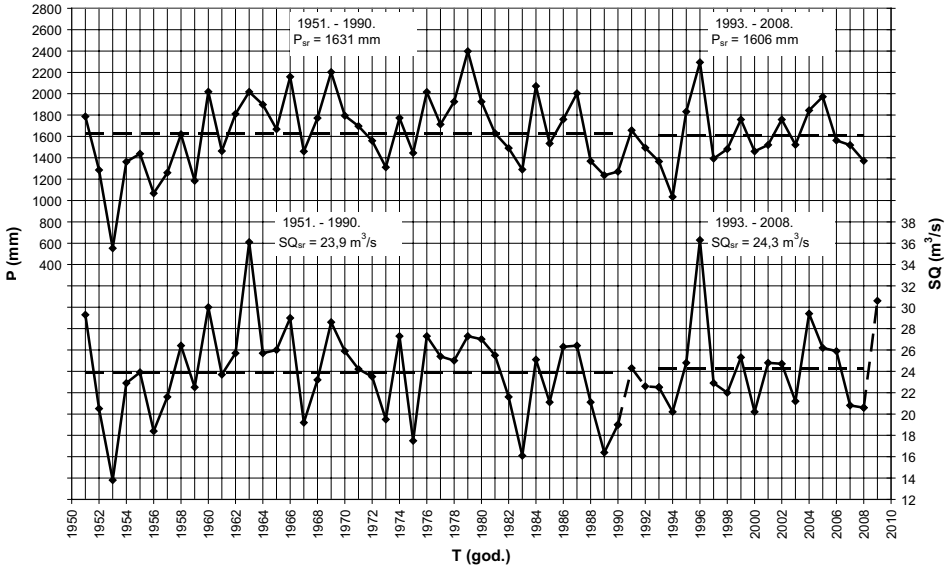
2. OBORINE NA SLIVU I PROTOCI OMBLE

Za razmatranje klimatskih utjecaja, koji bi u novije vrijeme, mogli promijeniti dotoke Omble, svakako su najzanimljivije oborine - kao najvažniji čimbenik koji uzrokuje otjecanje. Pritom nije uputno zaključke o vezi oborina - otjecanje temeljiti na podacima od meteoroloških stanica u Hrvatskoj: Slano, Cavtat, Dubrovnik-Čilipi i Pridvorje. Osim što se te stanice nalaze izvan sliva, iako u neposrednoj blizini razvodnice, rezultati provedenih analiza podataka s tih stanica ukazuju na vrlo veliku prostornu heterogenost jakih oborina (Gajić-Čapka, 2010). Radi toga su za razmatranja u ovom radu korišteni podaci prikupljeni na meteorološkoj stanici Trebinje za koju je, od Federalnoga hidrometeorološkog zavoda Bosne i Hercegovine, dobiven neprekinuti niz oborina od 1951. do 2008. godine. U širem razmatranom području količine oborine se još mjere na meteorološkim stanicama Ljubinje i Bileća, ali te su stanice izvan utjecajnoga sliva Omble.

Protoci Omble u profilu Komolac, koji su mjerodavni za HE Ombla, unutar razdoblja od 1951. do 2008. godine, definirani su na sljedeće načine:

- (1951.-1954.) na osnovi korelacijskih odnosa s oborinama na slivu - samo srednji godišnji protoci (Žugaj, 1994b),
- (1955.-1980.) na osnovi ARMAX modela (Miličević, 1988.),
- (1981.-1990.) na osnovi motrenja i mjerenja - prema podacima Republičkoga hidrometeorološkog zavoda RH (Žugaj, 1994a),
- 1991. i 1992. na osnovi čvrstoga korelacijskog odnosa srednjih godišnjih protoka Omble u profilu Komolac i godišnjih količina oborina na meteorološkoj stanici Trebinje - samo srednji godišnji protoci,
- (1993.-2008.) na osnovi motrenja i mjerenja - podaci Državnoga hidrometeorološkog zavoda RH.

Na slici 2 prikazani su, za razdoblje od 1951. do 2008. količine godišnjih oborina na meteorološkoj stanici Trebinje i srednji godišnji protoci Omble u profilu Komolac.



Slika 2. Godišnje količine oborine na meteorološkoj stanici Trebinje i P (mm) i srednji godišnji protoci Omble u profilu Komolac SQ u razdoblju od 1951. do 2008.

Važno je napomenuti da je, na osnovi razmatranja temperature zraka na meteorološkoj stanici Dubrovnik iz razdoblja (1961.-2008.) zaključeno da 1992. godine počinje zagrijavanje, koje prosječno godišnje iznosi 0,0153 °C (Bonacci, 2010). U navedenom znanstvenom radu dokumentiran je, na temelju razmatranja podataka s 26 meteoroloških stanica, porast temperatura zraka za cijelo područje Hrvatske.

Za područje sliva Omble ovakva studija nije izrađena, ali je za očekivati da su i tamo temperature zraka u zadnjih dvadesetak godina porasle u odnosu na temperature iz ranijega razdoblja.

Oba niza na slici 2 su homogena, što je potvrđeno Wilcoxonovim testom (podaci iz razdoblja od 1981. do 2008., uklapaju se na zadovoljavajući način u cijeli niz od 1951. do 2008.). Na osnovi korelacijske analize podataka godišnjih oborina P i srednjih godišnjih protoka SQ od 1951. do 1990. i od 1993. do 2008. definiran je čvrst odnos:

$$SQ = 0{,}01037\,P + 7{,}14 \qquad (1)$$

s koeficijentom korelacije: $r = 0{,}83$.

Na osnovi (1) nadopunjene su vrijednosti srednjih godišnjih protoka Omble u profilu Komolac za 1991. i 1992. godinu na osnovi godišnjih oborina sa meteorološke stanice Trebinje.

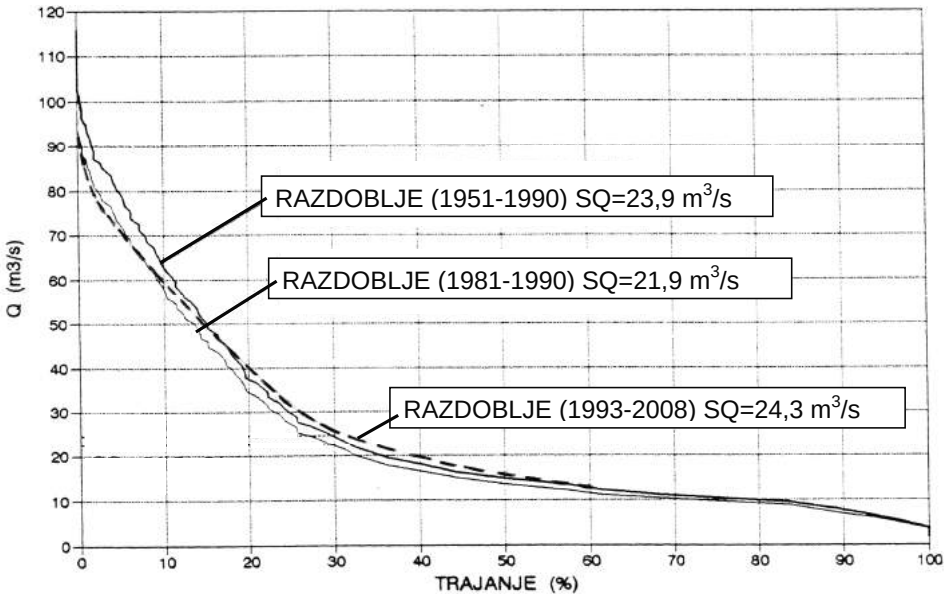
Nizovi od 58 podataka godišnjih količina oborine u Trebinju i srednjih godišnjih protoka Omble u profilu Komolac, ničim ne ukazuju na moguće promjene, u smislu smanjivanja dotoka, u zadnjih dvadesetak godina. Prosječne godišnje oborine, kao i prosječni godišnji protoci u razdobljima (1951.-1990.) i (1993.-2008.) na slici 2, međusobno se vrlo malo razlikuju. Čak su se, u razdoblju nakon 1993. godine, pojavili i vrlo veliki dotoci Omble, naročito 1996., pa 2004., a nakon, ne naročito vodnih 2007. i 2008. i 2009. godine. (Za 2009. godinu nije bilo podataka o oborini, pa ona nije uzeta u razmatranje.)

3. KRIVULJE TRAJANJA PROTOKA

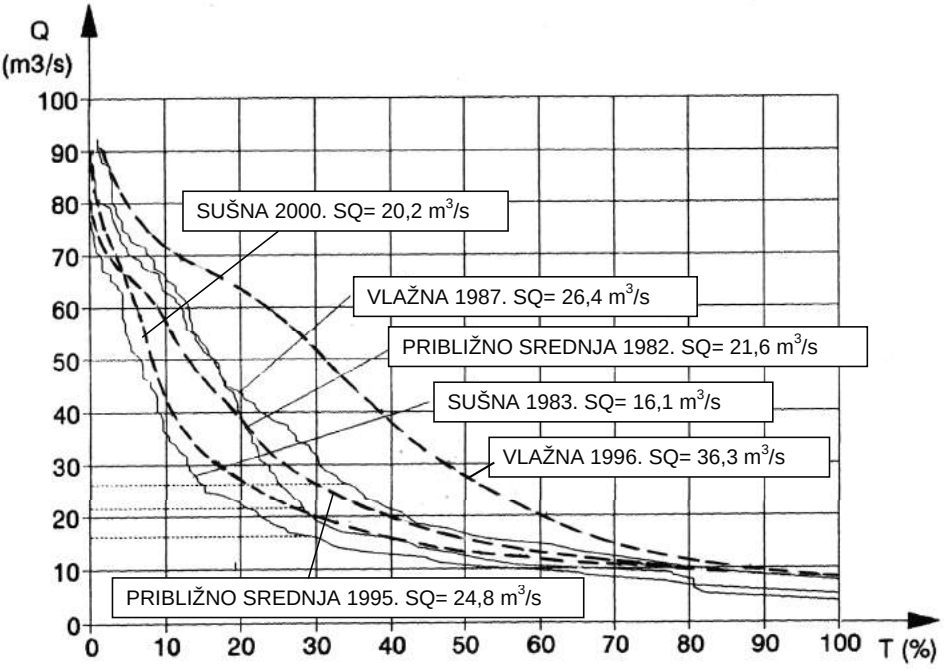
Usporedbe krivulja trajanja protoka Omble u profilu Komolac, iz različitih razdoblja (obrađeni su srednji dnevni protoci), također nisu ukazale na sušnost u najnovijem razdoblju. Na slici 3 su prikazane prosječne krivulje trajanja protoka za različita razdoblja: modelske vrijednosti i zadnjih 10 godina prema mjerenjima (1951.-1990.), mjerenja nakon stabiliziranja stanja na slivu do prekida u Domovinskom ratu (1981.-1990.) i najnoviji podaci (1993.-2008.).

Iz grafičkoga prikaza na slici 3 vidi se uobičajena sličnost oblika krivulja trajanja protoka, kada se one prikazuju za različita razdoblja. Zanimljivo je da prosječna krivulja trajanja protoka iz najnovijega razdoblja (1993.-2008.) ima, za protoke niže od 50,0 m^3/s, oblik koji omogućuje nešto povoljnije korištenje vode za energetiku, nego krivulje trajanja za druga razdoblja (Žugaj, 2009).

Usporede li se međusobno oblici krivulja trajanja protoka Omble u profilu Komolac iz razdoblja (1981.-1990.) i (1993.-2008.) za različite karakteristične godine: vlažnu, približno srednju i sušnu, koje su prikazane na slici 4, zaključuje se da sve krivulje trajanja protoka iz razdoblja (1993.-2008.) imaju povoljnije oblike za energetsko korištenje od odgovarajućih krivulja trajanja iz razdoblja (1981.-1990.). Pritom je važno napomenuti da je razdoblje (1981.-1990.) bilo izrazito sušno i u susjednim regijama, s naročito sušnom 1989. godinom.



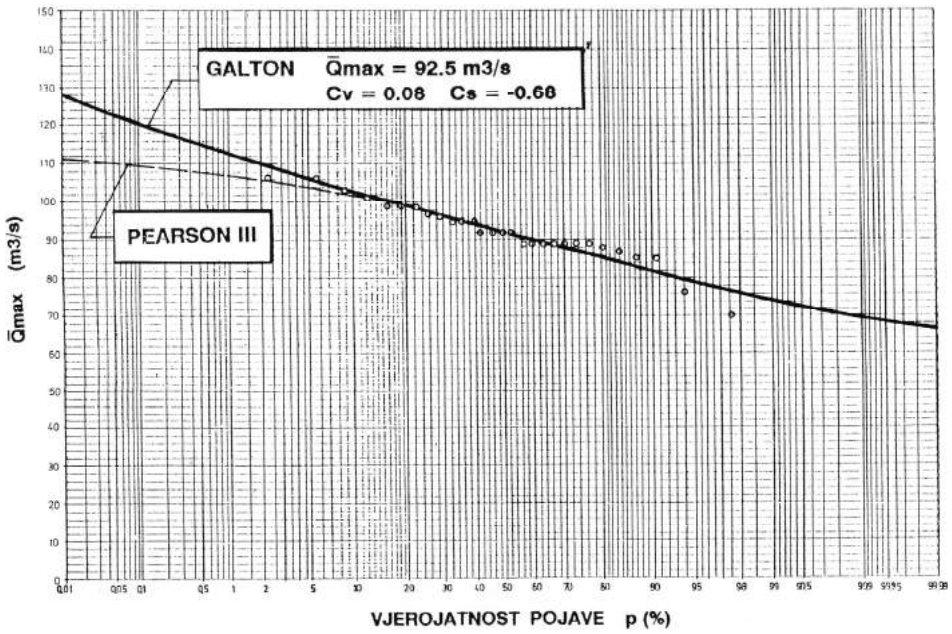
Slika 3. Krivulje trajanja protoka Omble u profilu Komolac za razdoblja (1951.-1990.), (1981. -1990.) i (1993.-2008.)



Slika 4. Krivulje trajanja protoka Omble u profilu Komolac za karakterističnе godine (vlažnu, približno srednju i sušnu) u razdobljima (1981 -1990.) i (1993.-2008.)

4. MAKSIMALNI I MINIMALNI GODIŠNJI PROTOCI

Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja Omble u profilu Komolac, zajedno s ulaznim izračunskim podacima, definirani u ranijoj obradi iz 1994., kojom su bili obuhvaćeni godišnji maksimumi iz razdoblja (1962.-1990.), prikazani su na slici 5. Podaci iz razdoblja (1993.-2008.) uspoređeni su s vrijednostima protoka prema, mjerodavnoj Galtonovoj raspodjeli.

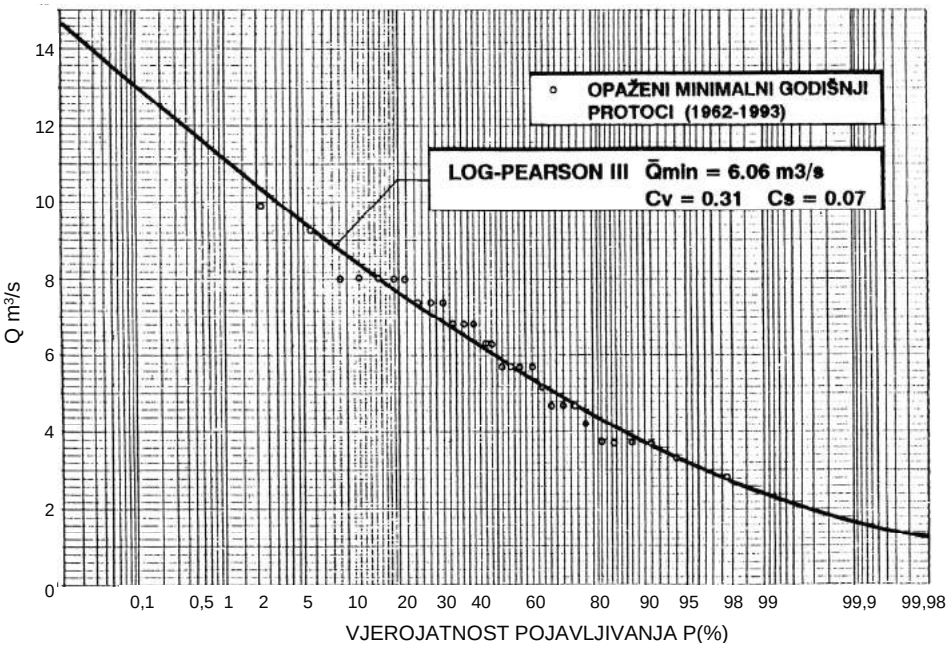


Slika 5. Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja Omble u profilu Komolac (Žugaj, 1994)

Maksimalni godišnji protoci Omble u profilu Komolac veći od 95,0 m^3/s (6-godišnje povratno razdoblje), pojavili su se u razdoblju (1993.-2008.) tri puta, a najveći zabilježeni protok od 99,6 m^3/s je 8-godišnjega povratnog razdoblja. U razdoblju od 1962. do 1980. zabilježena su svega četiri maksimalna godišnja protoka veća od 100 m^3/s; najveći je zabilježeni protok zabilježen dva puta (1973. i 1985.) i iznosio je 106 m^3/s. Prema tome, s obzirom da je novije znatno kraće od ranijega razdoblja, nema značajnoga smanjenja maksimalnih protoka.

Na slici 6 prikazani su minimalni godišnji protoci Omble u profilu Komolac iz ranije obrade i mjerodavna krivulja raspodjele.

Minimalni godišnji protoci Omble u profilu Komolac obrađeni su u ranijem razdoblju (1962. - 1990.) i kretali su se u rasponu od 3,72 do 9,88 m^3/s, a u razdoblju (1993.-2008.) od 4,02 do 8,77 m^3/s. Najniži zabilježeni protok iz razdoblja (1993.-2008.) od 4,02 m^3/s ima, prema raspodjeli sa slike 6, 6,5-godišnje povratno razdoblje - što pokazuje da se u razdoblju (1993.-2008.) nije pojavila izrazito mala voda - dok su u ranijem razdoblju, do 1990. godine, minimalni godišnji protoci na Ombli bili zabilježeni čak šest puta.



Slika 6. Minimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja Omble u profilu Komolac (Žugaj, 1994)

ZAKLJUČAK

Razmatranja provedena u prethodnim poglavljima su pokazala da su se oborine na slivu i protoci Omble u najnovijem razdoblju (1993.-2008.) vrlo malo promijenili (manje od dva posto), u odnosu na ranije razdoblje (1951.-1990.). Krivulje trajanja protoka Omble u profilu Komolac, prosječna i za karakteristične godine, iz novijega razdoblja, imaju slične, pače i povoljnije oblike za energetsko korištenje u odnosu na krivulje trajanja protoka iz ranijega razdoblja. Veličine maksimalnih i minimalnih protoka Omble u novijem razdoblju nisu se značajno promijenile u odnosu na ranije razdoblje. Povećano isparavanje koje bi, radi moguće drugačije, a nepovoljnije, raspodjele oborine unutar godine, moglo nepovoljno djelovati na otjecanje, nema naročita utjecaja, jer oborinska voda na slivu brzo ponire u podzemlje iz kojega, bez gubitaka, dolazi na izvor Omble.

Prema tome klimatske promjene, ukoliko one u zadnjih dvadesetak godina imaju određena utjecaja na slivu Omble, nisu imale posljedica na otjecanje rijeke Omble.

LITERATURA

[1] Bonacci, O. (2010): *Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj*, Građevinar **62** (2010) 9, 781-791.

[2] Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A., M. G., Peterson, T. (2002): *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twenttieth century*, Climate Research 19, 193-212.

[3] Gajić-Čapka, M. (2010): *Oborina na širem Dubrovačkom području*, Hrvatske vode **19** (2010) 74, 305-312.

[4] Juračić, M. (2006/07): *Geologija i (hidrogeologija) krša: Primjeri krškoga razvoja u Jadranskom području: Ombla*, Radni materijal za internu upotrebu, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 68-73.

[5] Miličević, M. (1988): *Hidrološka obrada, Utvrđivanje parametara režima voda vrela Ombla*, elaborat, Institut za korištenje i zaštitu voda na kršu, Trebinje.

[6] Sever, Z. (1988): *HE Ombla, idejni projekt*, sažetak, Hrvatska elektroprivreda d.d. i Elektroprojekt inženjering d.d., Zagreb.

[7] Žugaj, R. (1994a): *HE Ombla Hidrološka obrada*, elaborat, Elektroprojekt inženjering d.d., Zagreb.

[8] Žugaj, R. (1994b): *HE Ombla, Hidrološka obrada*, dodatak elaboratu, Elektroprojekt inženjering d.d., Zagreb.

[9] Žugaj, R. (2009): *Hidrološke podloge za HE Ombla*, elaborat, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

AUTORI

prof. dr. sc. Ranko Žugaj
prof. dr. sc. Željko Andreić

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb 10000, RH, *ranko.zugaj@rgn.hr; zeljko.andreic@rgn.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.20.

ODREĐIVANJE GRANIČNOG VODOSTAJA PLAVLJENJA KOPAČKOG RITA NA PRIMJERU POPLAVE U LISTOPADU-STUDENOM 2009. GODINE

Goran Palijan

SAŽETAK: Tijekom višegodišnjih hidrobioloških istraživanja Parka prirode Kopački rit, u okviru projekata „Zaštita voda rezervata Kopački rit“ i „Zaštita voda Kopačkog rita – ekološke interakcije Dunava i poplavnog područja“ zabilježeni su rezultati koji opisuju dinamiku plavljenja poplavnog područja. Rezultati pokazuju da plavljenje rita putem Hulovskog kanala započinje pri vodostaju nižem od +85 cm (79.69 m n. m.) na vodomjeru Apatin, a Sakadaškog jezera pri vodostaju od +167 cm (80.51 m n. m.) na istom vodomjeru. Nameće se potreba definiranja vodostaja pri kojem se može tvrditi da je došlo do poplave u Kopačkom ritu. Također je dan prijedlog definicije poplave u kvalitativnom smislu.

KLJUČNE RIJEČI: Kopački rit, poplava, Hulovski kanal, Sakadaško jezero, aluvijalni prag

DETERMINATION OF FLOODING TRESHOLD WATER LEVEL OF KOPAČKI RIT FLOODPLAIN ON THE EXAMPLE OF FLOOD FROM OCTOBER - NOVEMBER 2009

SUMMARY: During hydrobiological investigations of the Nature Park Kopački Rit, financed by the projects „Water protection of Kopački Rit reserve“ and „Protection of waters of Kopački Rit – ecological interactions of the Danube and floodplain“, different results were established that describe dynamics of flooding. These results show that flooding of the Kopački Rit through Hulovo Channel starts at the Danube water level at Apatin gauge of < +85 cm (79.69 m a. s. l.), while Lake Sakadaš is flooded at +167 cm (80.51 m a. s. l.). There is a need to define the Danube water level at which it could be stated that the flood had occurred. Also, a proposition of the definition of flood in kvalitative manner was suggested.

Key words: flow pulse, flood pulse, River Danube, floodplain, Kopački Rit

UVOD

Poplavna su područja niski predjeli u blizini rijeka koja povremeno poplavi suvišak vode iz glavnog riječnog korita (Welcomme, 1975.). To su područja na kojima se susreću voda i tlo te putem širokog dodirnog pojasa miješaju svoje karakteristike stvarajući sustav novih osobina. Kopački rit poplavno je područje rijeka Dunav i Drava pri čemu Drava ima minoran utjecaj zbog visoke obale između rita i Drave (Bonacci i dr., 2002). Poplavna nizina podijeljena je na sjeverni i južni dio koji su hidrološki odvojeni sustavi. Njihovo povezivanje putem Nađhat foka ostvaruje se samo pri visokim vodostajima Dunava ili pri vrlo visokim vodostajima kada se ta dva područja povežu u jednu cjelinu putem šireg područja Nađhat-a. U sjeverni dio voda ulazi putem Vemeljskog Dunavca, a u južni dio putem Hulovskog kanala. Hulovski kanal uljeva se u Kopačko jezero prije spajanja s kanalom Čonakut putem kanala Gorba. Kanal Čonakut uljeva se u Sakadaško jezero. U poplavnim se područjima pored kopnenih i vodenih staništa formira niz staništa prijelaznih osobina koja podržavaju razvoj zajednica velike biološke raznolikosti, dok cijeli sustav pokreću njegove hidrološke osobine tj. učestalost i intenzitet poplava. Važnost hidroloških čimbenika u stvaranju različitih osobina poplavnih područja naglašavaju brojni autori (Gucunski, 1983.; Heiler i dr., 1995.; Anesio i dr., 1997.; Spink i dr., 1998.; Castillo, 2000.; Johnston i dr., 2001.; Hŕberg i dr., 2002.; Vidaković i dr., 2002.; Zalocar de Domitrovic, 2003.; Palijan i Fuks, 2006.; Mihaljević i dr., 2009.; Peršić i dr., 2009.). Također, poplave stimuliraju razgradnju organske tvari (Lockaby i dr., 1996.; Glazebrook i Robertson, 1999.; Burns i Ryder, 2001.; Anderson i Smith, 2002.; Neatrour i dr., 2004.) što je u područjima koja imaju najveću primarnu proizvodnju uopće, važno svojstvo. Iz toga proizlazi da bi se promjene u osnovnim hidrološkim osobinama, koje formiraju Kopački rit, odrazile na osobine staništa, a time i na biološku raznolikost (Mikuska 1979.). Mihaljević (1999.) nabrajajući ekološke probleme ovog područja na prvo mjesto stavlja poremećeni vodni režim, dok Majstorović (1991.) napominje važnost malih voda za održavanje integriteta Kopačkog rita. Nameće se dakle zaključak da je precizno definiranje početka poplave od iznimnog značaja za pravilno tumačenje bioloških promjena u ritu pa samim time i za održavanje biološke raznolikosti ovog značajnog područja. Samim time se nameće i zaključak da je neophodno definirati što je to poplava u Kopačkom ritu, odnosno definirati poplavu u kvalitativnom smislu.

U tom kontekstu provedeno je promatranje promjena vodostaja u Kopačkom ritu (Sakadaško jezero) i Dunavu kako bi se usporedbom promjena vodostaja u oba sustava moglo doći do vrijednosti vodostaja Dunava pri kojoj je zabilježena i promjena vodostaja u Kopačkom ritu. Pri tome je za period promatranja (od 16. listopada do 17. studenog 2009. godine) odabrano vrijeme niske vode u ritu i male promjene vodostaja Dunava, a promatrana je samo rijeka Dunav zbog svog bitno većeg utjecaja na hidrologiju rita u odnosu na rijeku Dravu.

DEFINIRANJE POPLAVE I REZULTATI MJERENJA PROMJENE VODOSTAJA U KOPAČKOM RITU

Ukoliko se uzme u obzir Welcomme-ova definicija poplavnog područja s početka ovog članka može se definirati i što je to poplava u Kopačkom ritu. Poplava dakle nastupi u trenutku kada se voda izlije iz glavnog riječnog korita Dunava u bočne (ritske) kanale.

Glavni kanali u Kopačkom ritu kroz koje se odvija transport površinskih voda su Vemeljski Dunavac u sjevernom dijelu parka i Hulovski kanal u južnom dijelu parka.

Štoviše, potrebno je razlučiti postojanje različitih tipova poplava koji nemaju jednak utjecaj na heterogenost staništa i biodiverzitet poplavnog područja, te se hidrološki ciklus Kopačkog rita može podjeliti na tri osnovna perioda:

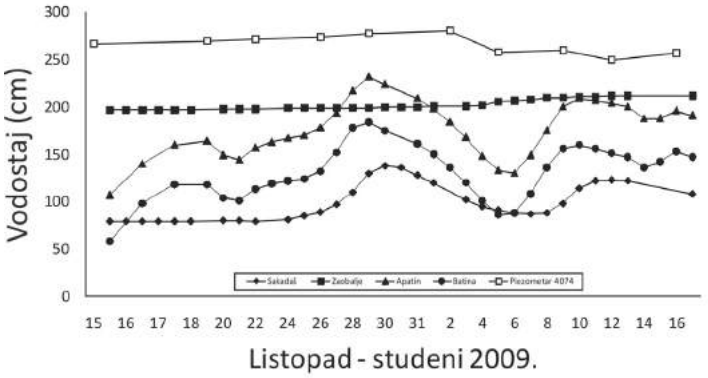
- Period 1 – period izolacije poplavnog područja od rijeke Dunav. Sva vodna tijela unutar poplavnog područja su stajaćeg karaktera.
- Period 2 – period izlijevanja rijeke Dunav iz svog korita u kanalsku mrežu poplavnog područja pri čemu se u kanalima posljedično pojavljuje protok, a razina vode kanala i jezera se povećava. Pri tome ne dolazi do njihovog izlijevanja iz korita. Ovakav tip poplave se naziva protočni puls (Tockner i dr., 2000.).
- Period 3 – period u kojem se razvija poplava u pravom smislu te riječi kada se voda prelivena iz Dunava rasprostire po Kopačkom ritu puneći kanale i jezera sve dok se i sami ne preliju i poplave inače kopnene predjele poplavnog područja. Ovakav tip poplave se naziva poplavni puls (Junk i dr., 1989.). Prema mojem mišljenju početak poplavnog pulsa su definirali Tadić i dr. (2003).

Period 1 nazivamo i limnofazom, a periode 2 i 3 potamofazom. Dakle u kvalitativnom smislu u Kopačkom ritu postoje dva tipa poplava: protočni i poplavni puls koji zajedno čine potamofazu ili period kada je poplavno područje sličnije rijeci. Nasuprot tome je limnofaza koja označava period kada je poplavno područje sličnije jezerskom ekosustavu (Neiff, 1996.).

Početak plavljenja kroz prag na ušću Hulova se može izračunati uzevši u obzir dvije vrijednosti. Potrebno je znati: 1. koliko iznosi pad vodnog lica Dunava od Apatina do učća Hulova; te 2. kolika je razlika u nadmorskim visinama vrha praga (približno 79 m n. m.) i „0“ (nula) na vodomjeru Apatin (78.84 m n. m.). Poznavajući te dvije vrijednosti moguće je utvrditi pri kojem vodostaju kod Apatina će se Dunav preliti preko praga na ušću Hulova. Procjeđivanje kroz prag će početi ranije.

Pad vodnog lica iznosi cca 4,5 cm/km, a udaljenost je 13 km (Majstorović, 1991.), pa on iznosi cca 58,5 cm. Dakle rit će kroz ušće Hulova poplaviti vodostaj kod Apatina od cca +74,5 cm (79,585 m n. m.), što je također u suglasnosti sa ustanovljenim na terenu, tj. sa zabilježenim tečenjem vode preko praga na ušću Hulova pri vodostaju nižem od +85 cm (79,69 m n. m.) kod Apatina. Prema podacima Hrvatskih voda, Vodnosnospodarski odjel Osijek, prosječni pad vodnog lica Dunava u Hrvatskoj iznosi od 4,7 do 5,6 cm/km. U tom bi slučaju rit kroz ušće Hulova bio poplavljen prilikom vodostaja kod Apatina od cca 77,1 do 88,8 cm (79,611 do 79,728 m n. m.). I ovakva situacija je također u suglasnosti s ustanovljenim na terenu tj. sa zabilježenim tečenjem vode preko praga na ušću Hulova pri vodostaju nižem od +85 cm (79.69 m n. m.) kod Apatina. Uzrokom neslaganja između vrijednosti dobivenih usporedbom kota i opaženog stanja na terenu može biti i stanovito odstupanje kote „0“ kod Apatina te kote na kojoj se formirao prag na ušću Hulova, koji nije betonska ploha već krupni tucanik. Štoviše, to i jest slučaj budući da su Đuroković i Brnić-Levada (1999.) zaključili da se prag formirao na oko, a ne na točno 79 m n. m. Dakle prag na ušću Hulova se formirao na nešto malo više od 79. m n. m.

Kako bi se utvrdilo pri kojem vodostaju Dunava dolazi do promjene vodostaja u Sakadaškom jezeru provedeno je motrenje vodostaja na ustavi „Kopačevo“ na Sakadaškom



Slika 1. Vodostaj Dunava, vodostaji na ustavi „Kopačevo“ i na piezometru 4074 izmjereni u periodu od 15.-og listopada do 17.-og studenog 2009. godine. Razvidno je kako vodostaj Dunava kod Apatina od približno +170 cm (80.54 m n. m.) (Batina +125 cm) plavi Sakadaško jezero. Također promjena vodostaja jezera nastupa vrlo brzo pošto je postignut kritični vodostaj na Dunavu te zadrška u odnosu na vodostaj Dunava kod Apatina i/ili Batine iznosi 1 dan (±12 h). Jednako toliko zaostaje maksimum jezera za maksimalnim vodostajem rijeke Dunav. Značajnija promjena vodostaja zaobalja se dogodila 5. studenog 2009. godine kada je u gradu Osijeku palo 24 mm oborina. Promjena razine podzemnih voda „kod ribnjaka“ je u promatranom periodu iznosila 14 cm te je kasnila za promjenom vodostaja Sakadaškog jezera tri dana.

jezeru (Nasip Drava-Dunav, km 18+445) u periodu izolacije jezera od Dunava (vodostaj Sakadaškog jezera ≤ +80 cm, 79.89 m n. m.) te tijekom nadolazećeg vodnog vala za kojega se, iz vodostaja Dunava očitanih u Mađarskoj, moglo zaključiti da neće premašiti +250 cm (81.34 m n. m.) kod Apatina (slika 1). Primječeno je da plavljenje Sakadaškog jezera započinje pri približno +170 cm (±5 cm) (80.54 ±0.05 m n. m.) na vodomjeru Apatin. Uzme li se u obzir razlika od 25 cm u nadmorskim visinama „0“ vodomjera kod Apatina (78.84 m n. m.) i ustave „Kopačevo“ (79.09 m n. m.) te toj razlici pridodaju prethodno spomenute vrijednosti za pad vodnog lica Dunava, može se doći do približno istog rezultata. Daljnjom korelacijskom analizom vodostaja Sakadaškog jezera i Dunava kod Apatina sa nula, jednim, dva, tri, četiri i pet dana zakašnjenja vodostaja Sakadaša za vodostajem Dunava dobije se precizniji rezultat. Skupovi podataka su formirani tako da je pri korelacijskoj analizi s nula dana zakašnjenja vodostaja Sakadaša za vodostajem Dunava upotrebljeno 27 mjerenja vodostaja Sakadaškog jezera na letvi na ustavi „Kopačevo“ s 27 mjerenja vodostaja Dunava kod Apatina u periodu od 16. listopada do 17. studenog 2009. godine. Šest dana nije obavljen obilazak letve na ustavi „Kopačevo“ pa zbog toga nisu uzete u obzir niti vrijednosti vodostaja Dunava na te dane. Pri korelacijskoj analizi s jednim danom zakašnjenja vodostaja Sakadaškog jezera za vodostajem Dunava skupovi podataka su formirani tako da je 26 mjerenja vodostaja Sakadaškog jezera na letvi na ustavi „Kopačevo“ korelirano s 26 mjerenja vodostaja Dunava kod Apatina. Pri tome su korišteni vodostaji Sakadaša od 17. listopada do 17. studenog 2009. i vodostaji Dunava od 16. listopada do 16. studenog 2009. godine. Pri korelaciji s dva dana zakašnjenja

korišteni su vodostaji Sakadaša od 18. listopada do 17. studenog 2009. i vodostaji Dunava od 16. listopada do 15. studenog 2009. godine, pri čemu je broj članova u skupu bio 25 itd. Prema toj analizi najveći koeficijent korelacije, pa time i najveća podudarnost vodostaja, je dobivena s jednim danom zakašnjenja (tablica 1.).

Dani zaostatka	0	1	2	3	4	5
Broj mjerenja (N)	27	26	25	24	23	22
Stupanj značajnosti (p)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.161	0.939
Koeficijent korelacije (r)	0.844	0.92	0.839	0.613	0.302	-0.017

Tablica 1. Broj mjerenja, stupanj značajnosti i koeficijenti korelacije vodostaja Sakadaškog jezera na ustavi „Kopačevo“ i Dunava kod Apatina sa zaostatkom Sakadaškog jezera za Dunavom od nula do pet dana. Najveći koeficijent korelacije je ostvaren s jednim danom razlike u odnosu na prvu primjećenu promjenu vodostaja Sakadaškog jezera. Mjerenja su obavljana jednom dnevno od 16. listopada do 17. studenog 2009. godine.

S obzirom na to da je promjena vodostaja Sakadaškog jezera zabilježena 25. listopada 2009. godine, treba zaključiti da je tu promjenu prouzročio vodostaj Dunava zabilježen jedan dan ranije. Dana 24. listopada 2009. godine vodostaj Dunava kod Apatina je iznosio +167 cm (80.51 m n. m.). Stoga se može zaključiti da granični vodostaj protočnog pulsa za Sakadaško jezero, a samim time i za kanal Čonakut iznosi +167 cm (80.51 m n. m.) na vodomjeru Apatin.

Preciznije vrijednosti od ovih moguće je dobiti korelacijom satnih mjerenja vodostaja na Sakadaškom jezeru i Dunavu što za sada nije moguće obaviti jer na Sakadaškom jezeru ne postoji automatski vodomjer sa mogučnošću satnog mjerenja.

ZAKLJUČAK

Hidrološki ciklus u Kopačkom ritu je moguće razdijeliti na period izolacije poplavnog područja od rijeke i na period poplave. Portebno je razlikovati dva tipa poplave u Kopačkom ritu, a to su protočni i poplavni puls. Poplava u južnom dijelu Kopačkog rita započinje u obliku protočnog pulsa kroz Hulovski kanal pri vodostaju od približno +85 cm (79,69 m n. m.) na vodomjernoj postaji Apatin. U Sakadaškom jezeru taj se puls osjeti tek pri približno +167 cm (80,51 m n. m.) te traje dok se voda ne izlije iz korita jezera. Preciznije vrijednosti od ovih moguće je dobiti korelacijom satnih mjerenja vodostaja na Sakadaškom jezeru i Dunavu što za sada nije moguće obaviti jer na Sakadaškom jezeru ne postoji automatski vodomjer s mogučnošću satnog mjerenja.

LITERATURA

[1] Anderson, J. T., Smith, L. M. (2002.): The effect of flooding regimes on decomposition of *Polygonum pensylvanicum* in playa wetlands (Southern Great Plains, USA). *Aquatic Botany* 74, 97-108.

[2] Anesio, A. M., Abreu, P. C., de Assis-Esteves, F. (1997.): Influence of the hydrological cycle on the bacterioplankton of an impacted clear water amazonian lake. *Microbial Ecology* 34, 66-73.

[3] Bonacci, O., Tadić, Z., Moržan, A., Radeljak, I. (2002.): Plan upravljanja Parkom prirode Kopački rit. *Sektorska studija: Hidrologija i meteorologija*. Elektroprojekt, Zagreb.

[4] Burns, A., Ryder, D. S. (2001.): Response of bacterial extracellular enzymes to innundation of floodplain sediments. *Freshwater Biology* 46, 1299-1307.

[5] Castillo, M. M. (2000.): Influence of hydrological seasonality on bacterioplankton in two neotropical floodplain lakes. *Hydrobiologia* 437, 57-69.

[6] Đuroković, Z., Brnić-Levada, D. (1999.): Utjecaj izvedenih hidrotehničkih radova na vodne resurse u Kopačkom ritu. *Zbornik radova sa 2. Hrvatske konferencije o vodama* (ur. D. Gereš), 661-666, Hrvatske vode, Zagreb.

[7] Glazebrook, H. S., Robertson, A. I. (1999.): The effect of flooding and flood timing on leaf litter breakdown rates and nutrient dynamics in a river red gum *(Eucalyptus camaldulensis)* forest. *Australian Journal of Ecology* 24, 625-635.

[8] Gucunski, D. (1983.): Hidrološki sustav specijalnog zoološkog rezervata „Kopački rit" i njegova važnost za opstanak ritskih biocenoza. *Zbornik radova sa 3. Znanstvenog sabora Slavonije i Baranje* (ur. D. Čalić i J. Roglić), 1003-1021, Akademija znanosti i umjetnosti, Osijek.

[9] Heiler, G., Hein, T., Schiemer, F., Bornette, G. (1995.): Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. *Regulated Rivers-Research & Management* 11, 351-361.

[10] Hřberg, P., Lindholm, M., Ramberg, L. Hessen, D. O. (2002.): Aquatic food web dynamics on a floodplain in the Okavango delta, Botswana. *Hydrobiologia* 470, 23-30.

[11] Johnston, C. A., Bridgham, S. D. Schubauer-Berigan, J. P. (2001.): Nutrient dynamics in relation to geomorphology of riverine wetlands. *Soil Science Society of America* 65, 557-577.

[12] Junk, W. L., Bayley, P. B., Sparks, R. E. (1989.): The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* 106, 110-127.

[13] Lockaby, B. G., Wheat, R. S. Clawson, R. G. (1996.): Influence of hydroperiod on litter conversion to soil organic matter in a floodplain forest. *Soil Science Society of America Journal* 60, 1989-1993.

[14] Majstorović, V. (1991.): O opskrbljenosti vodom i opstanku Kopačkog rita. *Ekološki glasnik* 1-2, 17-22.

[15] Mihaljević, M. (1999.): Zaštita Kopačkog rita. *Kopački rit – pregled istraživanja i bibliografija* (ur. J. Martinčić), 133-139, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Osijek.

[16] Mihaljević, M., Stević, F., Horvatić, J., Hackenberger-Kutuzović, B. (2009.): Dual impact of the flood pulses on the phytoplankton assemblages in a Danubian floodplain lake (Kopački Rit Nature Park, Croatia). *Hydrobiologia* 618, 77-88.

[17] Mikuska, J. (1979.): Ekološke osobine i zaštita specijalnog zoološkog rezervata „Kopački rit“ s posebnim osvrtom na ekologiju kralješnjaka. Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

[18] Neatrour, M. W., Webster, J. R. Benfield, E. F. (2004.): The role of floods in particulate organic matter dynamics of a southern Appalachian river-floodplain ecosystem. *Journal of the North American Benthological Society* 23, 198-213.

[19] Neiff, J. J. (1996.): Large rivers of South America: toward the new approach. *Verhandlungen International Vereiningen Limnologie* 26, 167–180.

[20] Peršić, V., Horvatić, J., Has-Schon, E., Bogut, I. (2009): Changes in N and P limitation induced by water level fluctuations in Nature Park Kopački Rit (Croatia): nutrient enrichment bioassay. *Aquatic Ecology* 43, 27-36.

[21] Spink, A. (1998.): Nutrient dynamics of large river floodplains. *Regulated Rivers-Research & Management* 14, 203-216.

[22] Tadić, Z., Bonacci, O., Radeljak, I., Tadić, L. (2003.): Vodni režim Parka prirode Kopački rit. *Zbornik radova sa 3. Hrvatske konferencije o vodama* (ur. D. Gereš), 941-950, Hrvatske vode, Zagreb.

[23] Tockner, K., Malard, F., Ward, J. V. (2000.): An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14, 2861-2883.

[24] Vidaković, J., Bogut, I. Borić, E. Zahirović, Z. (2002.): Hidrobiološka istraživanja u Parku prirode Kopački rit u razdoblju od studenoga 1997. do listopada 2001. *Hrvatske vode* 10, 127-144.

[25] Welcomme, R. L. (1975.): The Fisheries Ecology of African Floodplains. Commission for Inland Fisheries of Africa, Technical Paper No. 3., FAO, Rome.

[26] Zalocar de Domitrovic, Y. (2003.): Effect of fluctuations in water level on phytoplankto development in three lakes of the Paraná river floodplain (Argentina). *Hydrobiologia* 510, 175-193.

AUTOR

Goran Palijan

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.21.

EKOLOŠKI PRIHVATLJIV PROTICAJ U ODRŽIVOM UPRAVLJANJU VODAMA U BIH

Branko Vučijak, Esena Kupusović, Nataša Smolar-Žvanut, Francesca Antonelli

SAŽETAK: Glavni ciljevi projekta "Živjeti Neretvu" (2007-2011), kojeg financira norveško Ministarstvo inozemnih poslova i provodi WWF Mediteranski program u suradnji s WWF Norveške, su: (i) ispitati različite metode za procjenu ekološki prihvatljivog proticaja u odabranim podslivovima u Bosni i Hercegovini, (ii) osigurati preporuke za razvoj odgovarajućih podzakonskih akata o ekološki prihvatljivom proticaju (EPP), sukladno odredbama Zakona o vodama u Federaciji BiH i Republici Srpskoj. Za multidisciplinarna istraživanja su odabrani dio složenog kraškog sustava rijeke Trebižat i rijeka Vrbanja.

Na odabranim dionicama provjereno je nekoliko metoda procjene ekološki prihvatljivog proticaja temeljenih na hidrološkim podacima. Primjena ovih metoda potvrdila je da neke od njih, s nadgradnjom istraživanja ekoloških potreba, mogu pružiti dobru osnovu za procjenu EPP-a u BiH uvjetima.

Rad opisuje rezultate usporedbe proračuna EPP-a urađenog prema različitim metodama i predstavlja preporuke za izradu nacrta podzakonskog akta.

KLJUČNE RIJEČI: ekološki protok, Bosna i Hercegovina, Trebižat, ekosustavni pristup

ENVIRONMENTAL FLOW IN BOSNIA AND HERZEGOVINA SUSTAINABLE MANAGEMENT OF WATERS

SUMMARY: The main objectives of the project "Living Neretva" (2007-2011), funded by the Norwegian Ministry of Foreign Affairs and implemented by WWF Mediterranean Programme, in collaboration with WWF Norway, are to examine various methods for assessing environmental flow (ecologically accepted flow) in selected catchments in Bosnia and Herzegovina, and provide recommendations for development of adequate laws on the environmentally acceptable flow (EPP), according to the provisions of the Water Act in the Federation of BiH and the Republic Srpska. Parts of complex system of karst river Trebizat, so as river Vrbanja, were selected for multidisciplinary research in Federation of BiH.

At selected sections, several methods of ecological flow assessment based on hydrology

were tested. Application of these methods has confirmed that some of them, being upgraded with the research of ecological needs, can provide a good basis for assessing the EPP in BiH conditions.

This paper describes the comparison results of EPP calculation made by different methods, and presents recommendations for drafting the bylaw.

KEY WORDS: environmental flow, Bosnia and Herzegovina, Trebizat, ecosystem approach

1. UVOD

1.1. Koncept ekološki prihvatljivog proticaja

Potreba održanja ekosustava je uočena u drugoj polovici devedesetih godina prošlog stoljeća, kada je definiran osnovni koncept održivog razvoja. Režim tečenja u vodotoku potreban za održavanje ekosustava u željenom stanju obično se naziva „zahtijevani ekološki proticaj" (required environmental flow – REF) ili jednostavnije, „ekološki protok" (environmental flow – EF). U bosanskohercegovačkoj zakonskoj regulativi naziva se „ekološki prihvatljiv protok" (EPP).

Koncept ekološkog protoka je koncept pravednog dijeljenja vode između ljudskih potreba i potreba ekosustava - u svojoj naravi on je stoga važna značajka održive uporabe vodnih resursa i kao takav čini središnji, ali još uvijek podcijenjen i nedovoljno primijenjen element integralnog upravljanja riječnim slivom. Nepotpuno razumijevanje nerijetko usporava, pa i onemogućava njegovu primjenu.

Učinkovito određivanje ekološkog protioka zahtjeva multidisciplinarni tim stručnjaka koji istražuju suvremene pristupe da bi postigli uspješno harmoniziranje ispunjavanja ekoloških uvjeta tečenja uz održavanje biološke raznolikosti, s jednovremenim nastojanjem da se maksimiziraju gospodarski rezultati i društveno blagostanje. S napretkom znanja iz oblasti hidrologije i ekologije, unaprijeđeno je i razumijevanje ovisnosti ekosustava o proticaju vode.

Stupanj usuglašenosti među znanstvenicima o načinu definiranja ekološkog protoka sve je viši. Ipak, ne može se govoriti o jednoj metodi proračuna primjenljivoj u svim slučajevima.

1.2. Praksa u BiH

Kroz proces transpozicije EU-a politike o vodama u zakonodavstvo u Bosni i Hercegovini (BiH), upravljanje vodama je značajnije usmjereno ka zaštiti voda i pripadajućih ekosustava. Ekološki prihvatljiv protok je kao novi koncept ugrađen u nove Zakone o vodama (usvojenim 2006. godine) i u Federaciji BiH (FBiH) i u Republici Srpskoj (RS), kao „minimalni protok koji osigurava očuvanje prirodne ravnoteže i ekosustava vezanih za vodu" [1].

Zakoni propisuju da se ekološki prihvatljiv protok utvrđuje na osnovu provedenih istražnih radova i sukladno metodologiji za njegovo određivanje iz posebno donesenog podzakonskog akta (Pravilnika o ekološki prihvatljivom proticaju), uzimajući u obzir

1 (FBiH Zakon o vodama, članak 62 i RS Zakon o vodama, članak 65).

posebnosti lokalnog ekosustava i sezonske varijacije protoka. Zakon također propisuje i da će se, do donošenja ovog podzakonskog akta, ekološki prihvatljivi proticaj utvrđivati na osnovu hidroloških značajki vodnog tijela za karakteristične sezone, kao minimalni srednji mjesečni protok 95%-tne vjerojatnosti pojavljivanja.

Ovakvom prelaznom odredbom je nastavljena odranije prisutna praksa u BiH da se veličina garantiranih protoka određuje na temelju obrade raspoloživih hidroloških podataka.

Protok dobiven kao minimalni srednji mjesečni protok 95%-tne vjerojatnosti pojavljivanja ima nešto veću vrijednost od minimalnog srednjeg 30-dnevnog protoka i vjerojatnosti pojavljivanja 95%. Međutim, kao jedna od tradicionalnih metoda koja se vezuje za karakteristični proticaj, ni ova metoda ne uzima u obzir sezonske varijacije protoka, ne vodi računa o stvarnim potrebama nizvodnih biocenoza, konstantan protok ispuštanja iz akumulacije ne odgovara dinamici potreba ribljih vrsta itd. Sve ovo očigledno nije u suglasnosti s postavljenim ciljem dostizanja dobrog ekološkog stanja voda.

Promjena režima protoka vode nizvodno od brane ili uopće vodozahvata, jedan je od stresnih čimbenika koji utječu na vodene i obalne ekosustave mnogih rijeka u BiH. U odnosu na visok potencijal rijeka za proizvodnju električne energije, te u posljednje vrijeme naročito aktualno pitanje iskorištenja potencijala malih vodotoka, u BiH je potrebno što prije podzakonskim aktom na odgovarajući način regulirati određivanje ekološki prihvatljivog protoka

1.3. Projekt „Živjeti Neretvu“

Projekt “Živjeti Neretvu”, kojeg financira norveško Ministarstvo vanjskih poslova i provodi WWF Mediteranski program u suradnji s WWF Norveške, kroz više faza se provodi u BiH od 2007. godine. Jedan od značajnijih ciljeva projekta je osigurati preporuke za razvoj odgovarajućih podzakonskih akata o ekološki prihvatljivom protoku, u suradnji s institucijama za vode u BiH i sukladno odredbama Zakona o vodama FBiH i RS.

U toku prethodnih faza projekta, za odabrane dionice rijeka Trebižat i Vrbanja urađena su multidicsiplinarna istraživanja u kojim su učestvovali eksperti iz oblasti biologije, kemije i hidrologije. Prikupljeni su podaci i primijenjene četiri različite tzv. desktop metode procjene EPP-a, iz reda jednostavnijih i najraširenijih, koje se prvenstveno oslanjaju na povijesne hidrološke podatke. Obzirom da ove metode u općem slučaju mogu rezultate osigurati relativno brzo i jeftino, cilj je bio ispitati njihovu prihvatljivost s aspekta uvjeta koje postavlja Zakon o vodama i provjeriti pogodnost za primjenu u upravljanju vodama u BiH.

Na temelju rezultata multidisciplinarnih istraživanja, razvijena je opća procedura i metodologija za određivanje EPP-a. Izrađen je prijedlog podzakonskog akta (Pravilnika o ekološki prihvatljivom protoku), kako to zahtijevaju oba Zakona o vodama (u FBiH i u RS), te predstavljen predstavnicima sektora voda i sektora energetike. Tijekom četvrte faze projekta, testirane su predložene procedure i metodologija određivanja EPP-a, koje su, kao rezultat prethodnih faza projekta, date u prijedlogu podzakonskog akta. Testiranje je izvršeno na više odabranih istražnih područja odnosno profila u oba BiH entiteta, i to: Plava voda – Travnik i Neretva – Glavatičevo u FBiH, te Neretva – Ulog i Paljanska Miljacka u RS. Područja su odabrana u suradnji i na prijedlog nadležnih Agencija za vode.

2. TESTIRANJE METODA

2.1. Izbor hidroloških metoda i njihove osnovne karakteristike

Pregledom na globalnoj razini je ustanovljeno da se u 44 zemlje iz 6 regija svijeta primjenjuje 207 različitih metoda za procjenu ekološkog protoka, koje se mogu podijeliti na hidrološke, hidrauličke, metode simulacije staništa, te holističke metode, kao i druge kategorije koje predstavljaju kombinaciju navedenih osnovnih grupa. Najjednostavnije i najraširenije su hidrološke metode.

Metoda	Parametar
Q95 indeks (praksa u BiH) $Q_{EF} = Q_{95\%}$	• minimalni srednji mjesečni protok 95% vjerojatnosti pojave
MNQ (u uporabi u Hrvatskoj) Q_{EF} = MNQ	• Q_{EF} = MNQ (prosječni minimalni protok na VS u razmatranom periodu)
GEP (praksa u Srbiji) Topli period: travanj-listopad $Q_{ekol.gar.} = \begin{cases} 0.15\times\overline{Q} & za \quad Q_{80\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{80\%}^{min.(30)} \le 0.15\times\overline{Q} \\ Q_{80\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{80\%}^{min.(30)} & za \; 0.15\times\overline{Q} < Q_{80\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{80\%}^{min.(30)} < 0.25\times\overline{Q} \\ 0.25\times\overline{Q} & za \quad Q_{80\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{80\%}^{min.(30)} \ge 0.25\times\overline{Q} \end{cases}$ Hladni period: studeni-ožujak $Q_{ekol.gar.} = \begin{cases} 0.1\times\overline{Q} & za \quad Q_{95\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{95\%}^{min.(30)} \le 0.1\times\overline{Q} \\ Q_{95\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{95\%}^{min.(30)} & za \; 0.1\times\overline{Q} < Q_{95\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{95\%}^{min.(30)} < 0.15\times\overline{Q} \\ 0.15\times\overline{Q} & za \quad Q_{95\%}^{min.mes} \; ili \; Q_{95\%}^{min.(30)} \ge 0.15\times\overline{Q} \end{cases}$	• prosječni višegodišnji protok • minimalni srednji mjesečni protok 95% sigurnosti • minimalni srednji mjesečni protok 80% sigurnosti • min.sr. 30-dnevni protok 95% sigurnosti • min.sr. 30-dnevni protok 80% sigurnosti
Slovenska (iz prijedloga Uredbe iz 2009.g)	• Hidrološki (prosječni višegodišnji protok, prosječni minimalni protok, prosječni dekadni protok) • Karakteristike tehničkog rješenja zahvata – vrsta zahvata (povratni, nepovratni) – dispozicija (razdaljina između mjesta zahvata i povrata vode) – Količina zahvaćene vode
Matthey (M) $Q_{EF} = 15 \text{ x } \frac{Q_{300}}{(\ln Q_{300})^2}$ (ukoliko se osigura da je Q_{300}>50 l/s)	• protok koji na prosječnoj liniji trajanja ima trajanje 300 dana)

Tablica 1. Izabrane hidrološke metode sa parametrima

Za procjenu EPP-a, pored metode koja se koristi u praksi u BiH (minimalni srednji mjesečni protok 95% vjerojatnosti pojave, QEF,95%), odabrane su metode koje se koriste u praksi susjednih zemalja. Tako je odabrana metoda srednjeg minimalnog protoka

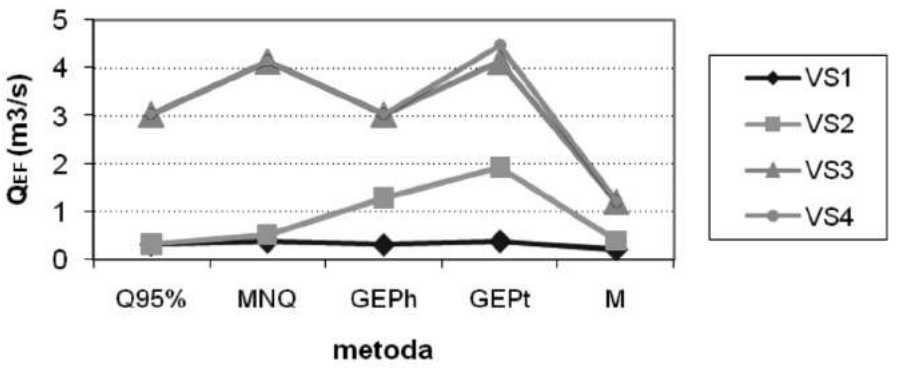
QEF,MNQ (MNQ metoda, u uporabi u Hrvatskoj), te metoda garantiranog ekološkog protoka QEF,GEP (GEP metoda, prisutna u Srbiji). Metoda iz prijedloga „Uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivog pretoka“ iz travnja 2009 („Slovenska metoda“) QEF,SLO odabrana je kao metoda iz najbliže EU zemlje, kao i Matthey metoda određivanja QEF,MAT, kao jedna od “brzih” metoda. Sve navedene metode zasnivaju se na hidrološkim parametrima, kako je prikazano u tablici 1.

2.2. Rezultati ispitivanja hidroloških metoda

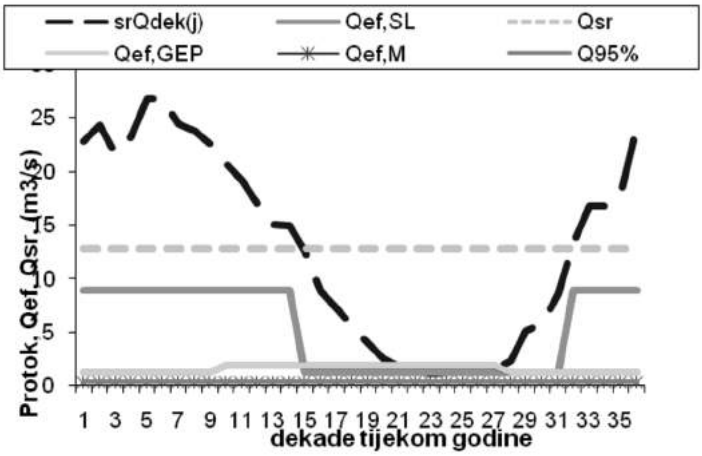
Na osnovu srednjih dnevnih p protoka (period 1975-1987.godina) proračunati su hidrološki parametri za četiri vodomjerne stanice u slivu Trebižata (Peć Mlini uzvodno -VS1; Peć Mlini nizvodno –VS2, Klobuk –VS3; Grabovo Vrelo – VS4), urađena procjena EPP-a po odabranim metodama, te izvršena usporedba dobivenih vrijednosti. U Tablici 2 prikazane su vrijednosti EPP dobivene različitim metodama za stanicu VS3, a na Slici 1 grafički su predstavljene dobivene vrijednosti za profile sve četiri vodomjerne stanice.

Iz prikazanih rezultata može se vidjeti slijedeće:

- U odnosu na Q95%, Slovenska metoda, kao i metode GEP i MNQ daju veće vrijednosti EPP-a, dok su metodom Mathey dobivene manje vrijednosti EPP-a;
- GEP metodom računa se garantirani protok za hladni period (studeni – ožujak), koji u pravilu ima manju vrijednost, i za topli period (travanj – listopad), koji je veći, što ne odgovara prirodnom režimu tečenja;
- Slovenska metoda razlikuje dvije vrijednosti protoka, zavisno od odnosa srednjeg dekadnog i srednjeg godišnjeg protoka;
- Najveće vrijednosti dobivene su Slovenskom metodom. Naročito visoke vrijednosti odnose se na slučajeve kod kojih se EPP definira preko srednjeg protoka, na primjer kod velikog zahvata, u dekadama kad je srednji dekadni protok veći od srednjeg godišnjeg protoka
- Metoda Q95% i GEP metoda podrazumijevaju proračun vjerojatnosti pojave, što po pravilu daje u rezultatu više različitih vrijednosti, zavisno o raspodjeli koja se koristi u proračunu. Za kraće nizove, testiranje prilagođavanja je otežano.



Slika 1. Rezultati proračuna EPP različitim metodama za 4 profila u slivu Trebižata

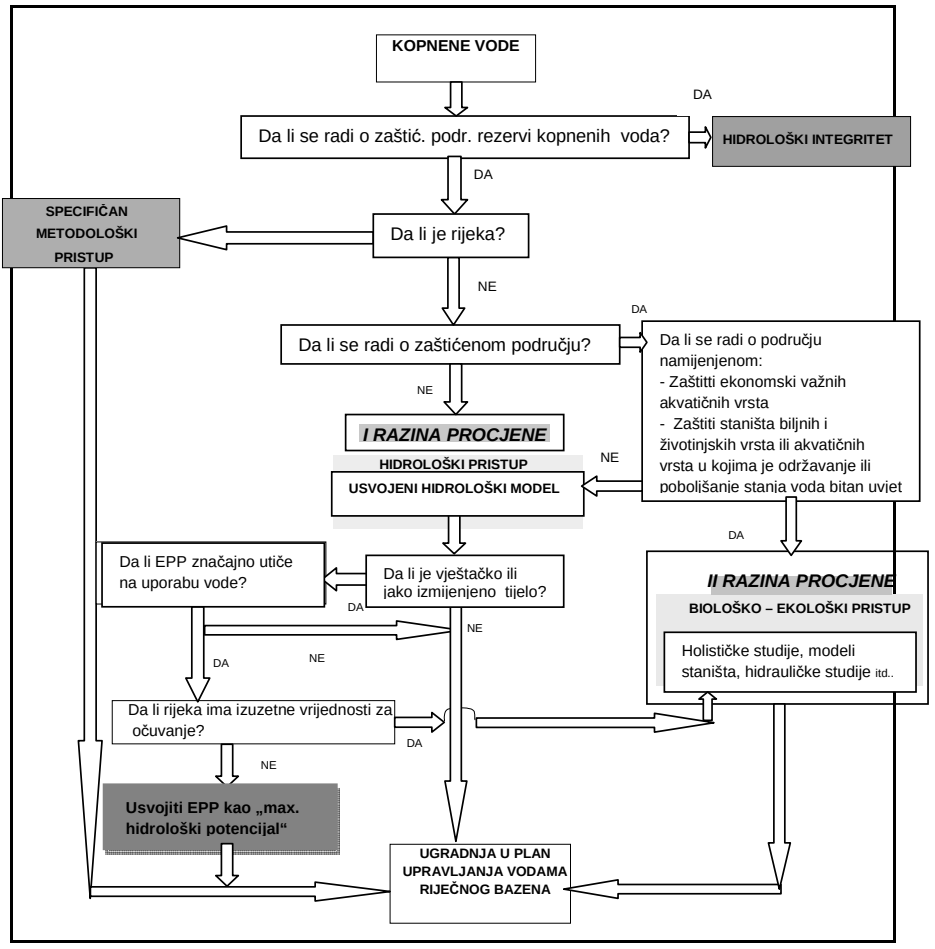


Slika 2. Rezultati proračuna EPP po različitim metodama tijekom godine

3. PREPORUKE ZA IZRADU NACRTA PODZAKONSKOG AKTA

Na osnovu Zakona o vodama, rezultata istraživanja i usporedbe vrijednosti EPP dobivenih različitim odabranim metodologijama, kao i rasprave sa predstavnicima sektora voda i sektora energetike u BiH, formulirani su sljedeći osnovni elementi za izradu Pravilnika:

- Polazeći od uvjeta potrebe uzimanja u obzir posebnosti lokalnog ekosustava, sukladno definiciji ekosustava u Zakonima o vodama, Pravilnik propisuje utvrđivanje EPP-a za sva vodna tijela, odnosno za sve rijeke (stalnog ili povremenog toka) i prijelazne vode vodnog područja, uključujući vodu za potrebe jezera i močvara, te obveznu ugradnju ove veličine u plan upravljanja vodama, kao jedne od mjera koje se odnose na zaštitu voda iz Programa mjera kao dijelu Plana upravljanja vodama, sukladno Zakonu o vodama.
- Pravilnik predviđa proračun potreba za vodom različitih ekosustava, uzimajući u obzir njihove posebnosti. U odnosu na različite ciljeve zaštite vodnog tijela, Pravilnik uspostavlja proceduru, kao okvirnu metodologiju koja koristi različite pristupe i primjenjuje različite razine procjene EPP-a, u skladu s potrebama slučaja.
- Procedura odnosno okvirna metodologija sadrži dvije razine procjene EPP-a: I RAZINA PROCJENE znači obveznu primjenu hidrološke metode u općem slučaju, dok je za sva zaštićena područja utvrđena Zakonom o vodama predviđena mogućnost II RAZINE PROCJENE koja uključuje holistički ili neki drugi pristup (Slika 3).
- Za I RAZINU PROCJENE metodologija definira hidrološke parametre i kriterije za određivanje EPP-a te propisuje jednadžbe za primjenu navedenih kriterija. EPP se određuje na osnovu parametara o srednjem protoku i srednjem minimalnom protoku (MNQ) u profilu vodozahvata, dobivenih standardnom hidrološkom statističkom obradom. Radi se o modificiranoj MNQ metodi, prilagođenoj sezonskim potrebama ekosustava: proračunom se dobiju dvije vrijednosti EPP, koje se tijekom godine smjenjuju, uzimajući u obzir sezonske varijacije protoka prema međusobnom odnosu između MNQ i srednjeg dekadnog protoka. U dekadama kad u prirodnom režimu tečenja u prosjeku teče vode manje od srednjeg protoka EPP ima vrijednost MNQ, a



Slika 3. Predloženi dijagram toka procedure / okvirne metodologije procjene EPP-a

u dekadama kad u prirodnom režimu tečenja u prosjeku teče vode više od srednjeg protoka EPP ima 50 % veću vrijednost.

- Za osiguranje relevantnosti podataka za procjenu EPP, Pravilnik propisuje uporabu hidroloških podataka nacionalnog monitoringa, kao i druge uvjete u cilju dobivanja odgovarajućih podataka za proračun EPP. Mjerenja se moraju provoditi po standardiziranim metodama sukladnim sa priznatim međunarodnim standardima na području hidrometrije.
- U slučaju postojanja akumulacije vode, Pravilnik propisuje ispiranje putem tzv. «flash protokua» (vještačkih vodnih talasa), čije se ispuštanje vrši prema urađenom projektu.
- Za II RAZINU PROCJENE metodologija propisuje dodatne analize vodenih ekosustava, naročito elemenata koji su najviše izloženi utjecaju promjene režima protoka vode. Ove metode koriste se samo u slučajevima za koje to organ koji vodi postupak

izdavanja vodne suglasnosti smatra za potrebno, u odnosu na Planove upravljanja vodama.

- Ukoliko bi promjene vezano za EPP imale negativan učinak na korisnike vode jako izmijenjenog vodnog tijela, koje nema izuzetnih vrijednosti za očuvanje, EPP se određuje kao „maksimalan hidrološki potencijal. Ukoliko postoje izuzetne vrijednosti za očuvanje, potrebno je izvršiti II RAZINU PROCJENE EPP.
- Pravilnik propisuje da se vrijednost EPP-a može usvojiti na drugačiji način u slučaju kad se radi o uporabi površinske vode za opskrbu stanovnika vodom za piće, sukladno rezultatima studije utjecaja na okoliš.
- Pravilnik također propisuje i monitoring i način izvještavanja o EPP-u, te sadrži prijelazne i završne odredbe.
- Procedura se provodi prema fazama prikazanim u narednom dijagramu.

ZAKLJUČAK

Ekološki prihvatljiv protok predstavlja značajan parametar za osiguranje postavljenog cilja dostizanja dobrog ekološkog stanja voda, kao i jednu od mjera koje se odnose na zaštitu voda iz Programa mjera kao dijelu Plana upravljanja vodama, sukladno Zakonu o vodama i EU Okvirnoj direktivi o vodama. Predstavljeno istraživanje je temeljem dubinske usporedbe rezultata više odabranih metoda za računanje ekoloških protioka dovelo do spoznaje o prednostima i nedostatcima svakog od njih i omogućilo izradu nacrta odgovarajućeg podzakonskog akta - Pravilnika o ekološki prihvatljivom protoku, za oba BiH entiteta.

LITERATURA

[1] Dyson, M./ Bergkamp, G. / Scanlon, J. (Eds) 2003. Flow, the essentials of environmental flows (Gland: IUCN).

[2] Đorđević B, 1990, Vodoprivredni sistemi, Naučna knjiga, Beograd

[3] Đorđević B, Dašić T, 2007, Garantovani protoci nizvodno od brana, Elektroprivreda

[4] Žugaj, R., 2000: Hidrologija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

[5] WWF Mediterranean Programme Office, 2008, Living Neretva. Towards EU standards in the Neretva River Basin, BiH, Faza III: Procjena ekološki prihvatljivog protoka za rijeke Trebižat i Vrbanja

[6] WWF Mediterranean Programme Office, 2008, Living Neretva. Towards EU standards in the Neretva River Basin, BiH, Faza IV: Nacrt Pravilnika o ekološki prihvatljivom proticaju

AUTORI

doc.dr.sc. Branko Vučijak [a]
mr.sc. Esena Kupusović [b]
doc.dr.sc. Nataša Smolar-Žvanut [c]
mr.sc. Francesca Antonelli [d]

[a] WWF Mediterranean Programme Office PO Sarajevo, Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, bvucijak@wwf.panda.org

[b] Federalni hidrometeorološki zavod, Bardakčije 12, Sarajevo, 71 000, Bosna i Hercegovina, kupusovic.e@fhmzbih.gov.ba

[c] Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana, Slovenia, natasa.smolar@izvrs.si

[d] WWF Mediterranean Programme Office, Via Po 25/c, 00198 Rome, Italy, fantonelli@wwf.panda.org

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.22.

VAŽNOST HIDROMETRIČKIH PODATAKA U VRIJEME KLIMATSKIH PROMJENA I HIDROLOŠKIH RIZIKA

Samo Čarman, Alenka Šajn Slak

SAŽETAK: Hidrometrički podaci su osnova za učinkovito odlučivanje na području voda i šire. Tržište hidrometričkih instrumenata nudi širok raspon instrumenata za mjerenje visine vode, protoka vode i padavina s različitim principima mjerenja. Što odabrati? Koji princip mjerenja je primjeren za određeno hidrološko stanje? Rezultati pokazuju da je princip mjehurića, kao od zanošenja siguran princip mjerenja razine, pogodan za olujna područja i za područja gdje rad inkrementalnih dekodera s plovkom onemogučava led u zimskom razdoblju. Radarska tehnologija omogućava beskontaktno mjerenje razine vode i predstavlja pouzdanu zamjenu za uobičajene senzore razine (tlačne sonde) posebno za vrijeme poplava. ADCP tehnologija omogućava točno i brzo mjerenje protoka vode. Najnovija dostignuća u mjerenju količine padavina su mjerač padavina na principu vaganja i laserski optički disdrometar za istovremeno mjerenje veličine čestica i brzine svih tekućih i krutih padavina. Važno je razumjeti i prihvatiti kolebljivost mjerenih podatka kad su oni upotrijebljeni za prognostičke modele.

KLJUČNE RIJEČI: mjerači, vodostaj, protok, padavine, poplave

THE IMPORTANCE OF HYDROMETRIC DATA IN TIMES OF CLIMATE CHANGES AND HYDROLOGICAL RISKS

SUMMARY: Hydrometric data is fundamental to effective decision making in the water sector and beyond. The market of hydrometric instruments offers a wide range of instruments for the measurement of water level, water flow and precipitation with different measurement principles. Which one to choose? Which measurement principle is suitable for a certain hydrological condition? The results show that the bubble principle as a drift-free level measurement is suitable for lightning areas and the areas where, for example, shaft encoders are disabled by ice in winter time. The radar technology provides contact less measurement of water level and it is a reliable alternative to the conventional level sensors (pressure probes), especially during flood conditions. ADCP technology allows an accurate, rapid discharge measurement. The latest developments in precipitation measurement are weighing principle raingauge and a laser-based optical disdrometer for simultaneous measurement of particle size and velocity of all liquid and solid precipitation. It is important to understand and accept the uncertainty of measured data when they are used for model predictions.

KEY WORDS: sensors, water level, discharge, precipitations, floods

1. UVOD

Hidrometrički podaci postaju sve značajniji u vrijeme klimatskih promjena i hidroloških rizika. Hidrološki podaci o poplavama upotrebljavaju se za upozorenja od poplava, predviđanje poplava, djelovanje sredstava i nadzor izvođenja, prepoznavanje poplava, hidrološku analizu: ocjena poplave, kartografiranje poplave, hidrologija i kalibriranje modela, planiranje kriznih situacija, standardiziranje zaštitnih studija, procjena poplavnih rizika, planovi upravljanja poplavo rizičnim porječjima, dugoročni monitoring trendova (npr. klima) i slično.

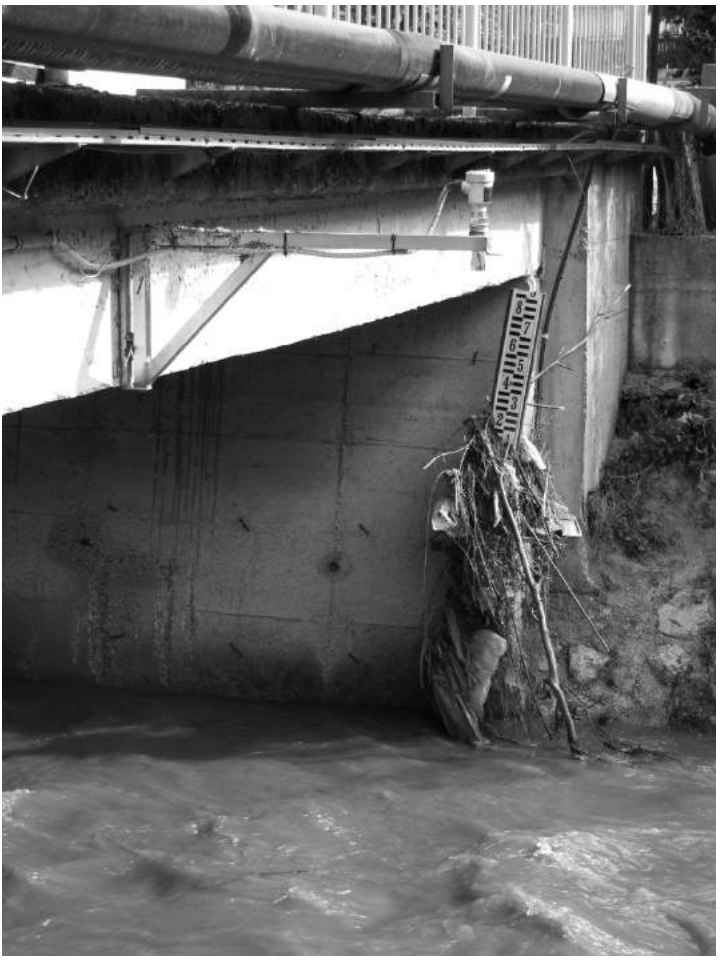
Slika 1: Automatska hidrološka stanica Medija Zagorje (ARSO) nakon poplave 2010

Upravitelji vodnih resursa i poplavnih rizika, hidrolozi, modelari i planeri koriste opažanja za pripremu osnovnog polazišta za prognostičke modele. Prognoza je dobra toliko koliko su dobri podaci upotrijebljeni za njenu izradu. Međutim, smijemo li vjerovati podacima, pogotovu ekstremnim? Dali je mreža odgovarajuća za upozoravanje na opasnost od poplava?

Na probleme novodobnih klimatskih promjena odazvali su se i proizvođači opreme i tržištu ponudili nove i sposobnije mjerne instrumente. U produžetku nudimo pregled suvremenih hidrometričkih mjernih principa.

2. MJERENJE VODOSTAJA

Vodostaj je hidrološki parametar, definiran kao visina vodene površine, mjerena na određenom mjestu u određenom trenutku. Paleta instrumenta za mjerenje vodostaja je raznolika i nude nam se različiti načini mjerenja.



Slika 2: Mjerno mesto Medija Zagorje (ARSO) nakon poplave

Bez mjernih letvi još uvijek ne ide. Na hidrološkim postajama su potrebne za umjeravanje i kontrolu digitalnih mjerača, a omogućavaju i trenutačno odčitavanje podatka. Na raspolaganju su iz različitih materijala (emajlirani lim, nehrđajući čelik ili aluminij) i u standardnim oblicima i veličinama.

2.1. Mjerenje s plovkom

Mjerače s plovkom upotrebljavamo za kontinuirano mjerenje površinskih i podzemnih

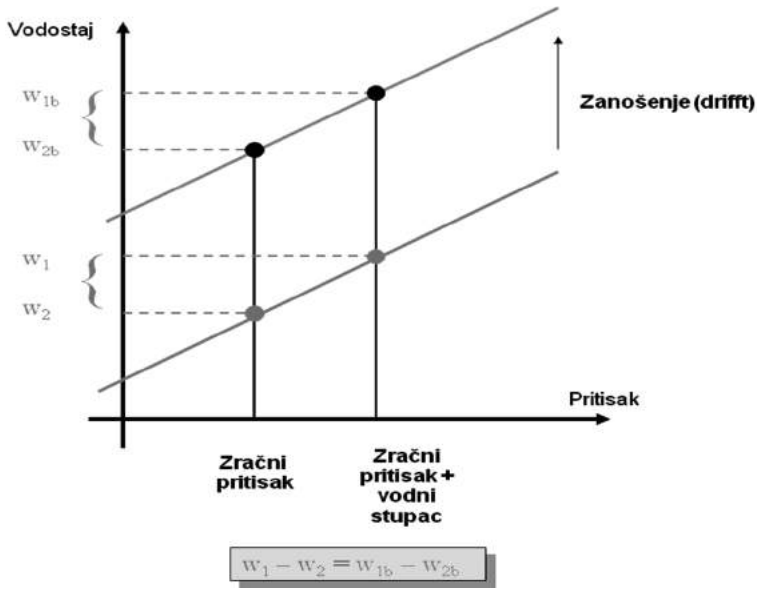
voda. Promjene u vodostaju se prenose preko plovnog kabelskog protutežnog sistema do vretena na uređaju za zapisivanje. Rotacija koju prouzroči promjena vodostaja pretvara se u električni signal, koji se preko kabla prenese u uređaj za zapisivanje podataka, gdje se pohrani kao izmjerena vrijednost.

2.2. Tlačna sonda

Tlačna sonda je još uvijek najčešće korišten uređaj za mjerenje vodostaja. Mjeri hidrostatički tlak vodenog stupa na referentni mjerni tlačni senzor. Kompenzacijska kapilara u kablu sonde omogućava tlačnom senzoru referentno mjerenje zračnog tlaka. Tako se izbjegnu netočna mjerenja prouzročena njihanjem zračnog tlaka. Usprkos naporima proizvođača kod traženja odgovarajućih materijala za membranu tlačnog senzora, kod tlačnih sondi nije moguće izbjeći klizanje mentalne ili keramičke membrane, dakle klizanje mjerača u daljem vremenskom razdoblju.

2.3. Princip mjehurića

Vrlo prikladan fizikalni princip mjerenja vodostaja je princip mjehurića. Zrak stisnut pomoću klipne pumpe prolazi kroz mjernu cjevčicu i poseban produžetak u vodu. Povećan pritisak koji pri tome nastaje u mjernoj cijevi je neposredno razmjeran vodenom stupu nad uronjenim produžetkom i zračnom tlaku zajedno. Mjerač potom odvojeno izmjeri zračni tlak. S pomoću razlike među signalima instrument izračuna visinu površine vode. Taj fizikalni princip omogućava mjerenje bez zanošenja (drifta).



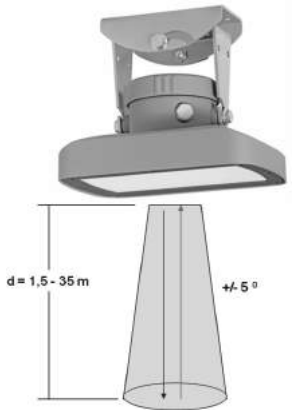
Slika 3: Princip mjehurića - mjerenje bez zanošenja senzora

Prednost mjerača s mjehurićima je i mala potrošnja električne energije za djelovanje.

2.4. Radar

Sve do sada opisane tehnike mjerenja vodostaja se pri poplavama, kakvima smo bili svjedoci u rujnu 2010. u Sloveniji, vrlo lako pokažu za manje primjerene. Potopne mjerače može odnijeti vodena bujica koja sa sobom nosi sedimente, drveće i druge veće predmete. Mjerne postaje koje nisu dovoljno dignute može zaliti voda i onemogućiti djelovanje elektronike na postajama.

Zbog toga postaje sve češće mjerenje vodostaja s beskontaktnim radarskim mjeračima koji rade na osnovu impulsne radarske tehnologije. Odašiljačka antena emitira kratke radarske impulse, a odvojena prijamna antena prima impulse koji se odbijaju od vode i upotrebljava ih za određivanje razdaljine između senzora i površine vode; vrijeme između odašiljanja i prijama radarskih impulsa je razmjerno razdaljini između senzora i površine vode.



Slika 4: Radarski mjerač vodostaja

Neki proizvođači nude i Dopplerove radarske mjerače za beskontaktno mjerenje vodostaja koji, namješteni pod kutom 45° u odnosu na riječnu površinu, mjere površinsku brzinu vode iz koje se izračunava protok. I to rješenje se je kod poplava pokazalo za vrlo pouzdano i korisno.

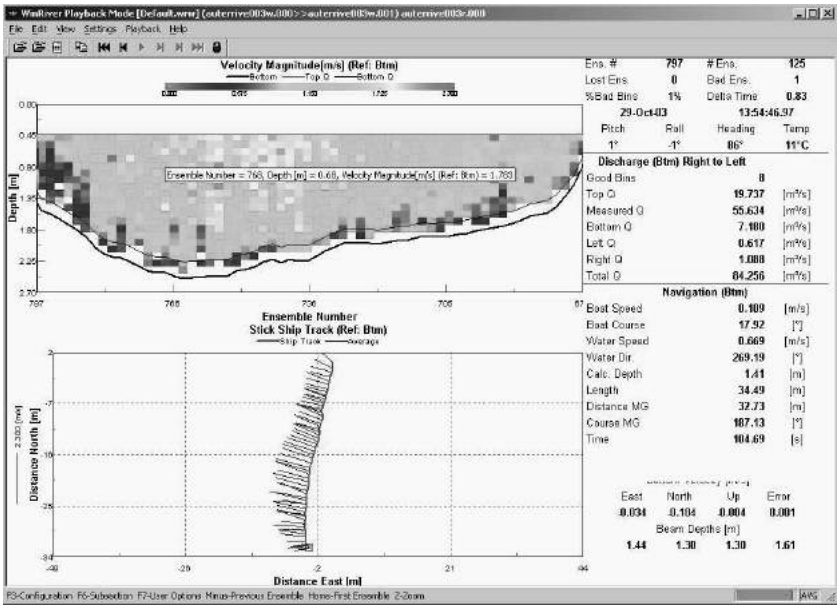
I što još možemo napraviti da bi bila mjerenja u slučaju poplava još pouzdanija? Redundantna mjerenja, to jest mjerenja istoga parametra s dvjema različitima mjernim principima na istoj postaji istovremeno (npr. tlačna sonda i radarski mjerač), su sigurno pravi odgovor.

3. MJERENJE PROTOKA

U izvanrednim hidrološkim situacijama se mjerenja obavljaju i na lokacijama koje nisu uključene u mrežu mjernih mjesta. Radi se o mjerenjima protoka koji mogu zorno pokazati i suprotni tok (backflow) blizu spoja dviju rijeka. Jer u slučaju visokih voda prelaženje korita pješke i mjerenje s klasičnim ili ultrazvučnim krilima nije moguće, upotrebljava se mjerenje s akustičnom Dopplerovom metodom s istovremenom integracijom polja brzine i površine poprečnog presjeka. Mjerenja se izvode tako da s dvjema konopima i dvojicom izvođača na suprotnim obalama vučemo ADCP instrument (obično brodić

trimaran) preko vodenog toka. Mjerenja se mogu izvoditi i iz brodice, s mosta ili preko žičanog premošćenja. Usprkos naprednoj tehnologiji mjerenja je spretnost mjerača kod upravljanja brodicom vrlo važna da narasle vode ne bi odnijele mjernu opremu.

Slika 5: Mjerenje protoka na rijeci Soča



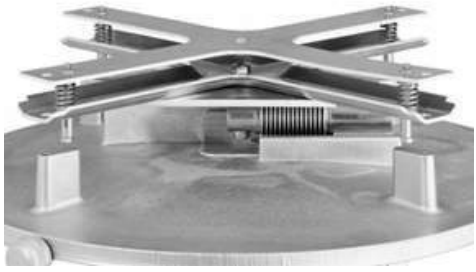
Slika 6: Prikaz izmjerenjih podataka na računaru

4. MJERENJE PADAVINA

Velik značaj za prognoziranje poplavnih događaja imaju i mjerenja meteoroloških parametara, prvenstveno padavina. Najnovije dostignuće pri mjerenju padavina je uređaj za mjerenje padavina koji otklanja nedostatke prevrtnog mjerača padavina s skupljanjem padavina i vaganjem sabrane tekućine s vrlo točnom mjernom dozom.

Slika 7: Primjer mjerača padavina sa vaganjem OTT Pluvio2

Princip mjerenja s vaganjem temelji na jedinstvenoj zatvorenoj mjernoj dozi s kompenzacijskim rubom, zaštitom od preopterećenja, direktnom montažom na platformu za mjerenje težine te savršenom elektronikom i algoritamskim funkcijama. Pojedine temperaturne karakteristike mjerne doze su memorirane u elektronici i korigirane s in situ temperaturnom kompenzacijom. To omogućava točno mjerenje težine s dodanom točnošću od 2 grama jednako 0,10 mm i impresivnu rezoluciju od 0,01 mm padavina. Mjerna doza je neosjetljiva na ekscentrično punjenje do kojega može doći zbog nesimetrične raspodjele snijega u posudi.

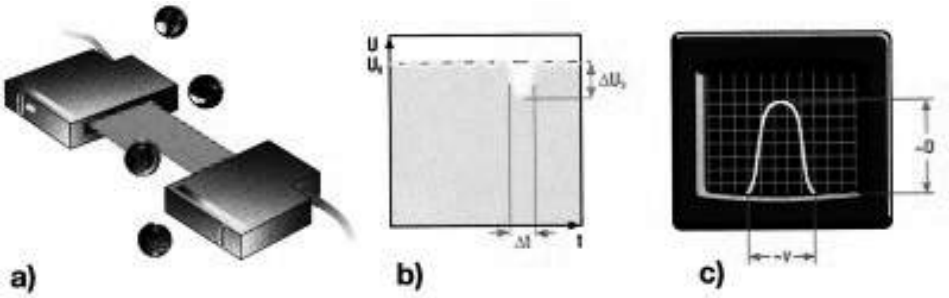


Slika 8: Vaga mjerača padavin

Zbog poboljšanog skupljanja podataka u realnom vremenu, koje osigurava informacije o intenzitetu i količini padavina, je ovaj instrument idealan alat u upravljanju rizicima za upozorenja na opasnost od poplava i druge vremenske neprilike, posebno one koje uključuju ekstremne padavine.

Drugo dostignuće u tehnološkom razvoju mjerenja padavina je laserski optički disdrometar za istovremeno mjerenje veličine i brzine čestica svih tekućih i krutih padavina.

Za pravovremeno upozoravanje na očekivane visoke vode je nužno brzo i točno mjeriti količinu i prostornu raširenost padavina. Ovaj cilj možemo postići kombiniranjem radarskog mjerenja vremena (prostorne informacije s smanjenom točnošću) i mjerenja s disdrometrom na tlu. S tim dobivamo podatke o distribuciji veličine kapi na zemlji i funkciju za pridobivanje lokalnog Z/R omjera, upotrebljivog za podešavanje radarskih podataka.



Slika 9: Kod prekida mjernog signala na disdrometru zbog padavina (a) izmjeri se promjena napetosti i trajanje prekida (b), iz kojeg možemo dobiti brzini u veličinu padavina (c)

U kombinaciji s senzorima nivoa vode i modeliranjem odvodnje, bi mogli izgraditi djelotvoran regionalni sustav ranog upozoravanja na opasnost od poplava.

ZAKLJUČAK

Hidrometrički podaci su osnova za učinkovito odlučivanje na području voda i šire. Upravitelji vodnih resursa i poplavnih rizika, hidrolozi, modelari i planeri koriste su stručnjaci kojima trebaju točni i pouzdani hidrometrički podaci za izvršavanje njihovih zadataka. Važno je usvojiti novu tehnologiju mjerenja i ne biti ograničen prijašnjim metodama. Na drugoj strani je važno razumjeti i prihvatiti neizvjesnost mjerenih podataka kad se oni koriste za prognostičke modele.

LITERATURA

[1] Nehmet, K., *OTT Parsivel*, Powerpoint presentation, Kempten, Njemačka, 2008

[2] Nehmet, K., *OTT Pluvio²*, Powerpoint presentation, Kempten, Njemačka, 2009

[3] OTT CBS, Powerpoint presentation, Kempten, Njemačka, 2009

[4] Šajn Slak, A., Čarman, S., *Kako koristne so lahko hidrometrične meritve?*, Ekolist, Št.7, December 2010, str. 21

AUTORI

Samo Čarman, dipl. ing.[a]
dr. Alenka Šajn Slak, univ. dipl. biol.[b],

[a] CGS plus d.o.o., Brnčičeva 13, Ljubljana, Slovenija *samo.carman@cgsplus.si*
[b] CGS plus d.o.o., Brnčičeva 13, Ljubljana, Slovenija *alenka.sajn@cgsplus.si*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.23.

PRINCIPI RADA I PRIMJENE VODONEPROPUSNIH ULTRAZVUČNIH INSTRUMENATAZA MJERENJE RAZINE

Damir Žibrat

SAŽETAK: U ovom radu objašnjeni su osnovni principi rada uređaja za ultrazvučna mjerenja razina. Poznavanje principa rada znatno pridonosi pravilnom odabiru instrumenata. Odgovarajući odabir i pravilna montaža uređaja mogu znatno povećati pouzdanost, raspoloživost i profitabilnost nadzorno-upravljačkih sustava. Analiza fizikalnih pojava na kojima se temelje mjerenja neophodna je za procjenu mogućnosti pojedinih postupaka te mogućnosti elektroničkog sklopovlja.

KLJUČNE RIJEČI: Ultrazvuk, Vodonepropusnost, Mjerenje razine

INGPRINCIPLESANDUSAGEOFWATERTIGHT ULTRASONICLEVELMETERS

SUMMARY: In this paper basic working principles of ultrasonic levelmeters are explained. Knowledge about working principles has considerable influence on appropriate selection of instruments. Appropriate selection and appropriate installation of instrument can considerably enhance reliability, availability and profitability of measurement and controll systems. Analyse of phisical phenomenon on which measurement is based is necessary for estimation of possibilities of particular procedures and possibilities of electronic circuitry.

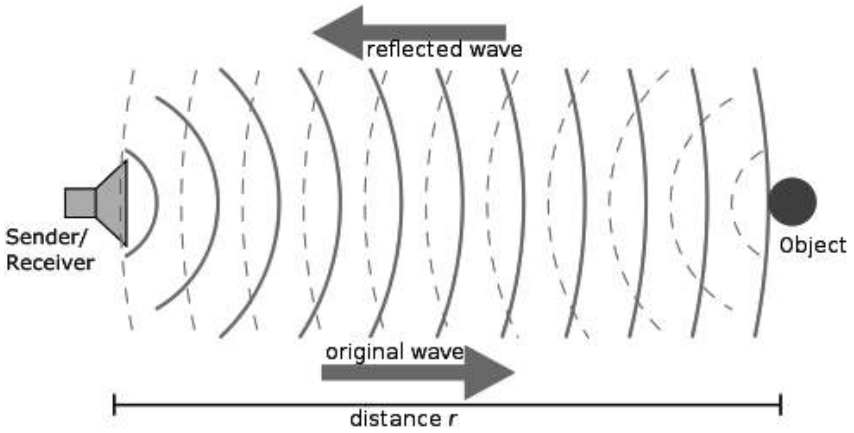
KEY WORDS: Ultrasound, Watertight, Level measurement

1. UVOD

Mjerenje razina jedno je od osnovnih mjerenja u sustavima vodoopskrbe i odvodnje. Informacija o razini vode važna je za uključivanje i isključivanje crpki, te signalizaciju u sustave nadzora i upravljanja. Pouzdanost mjernog sustava za mjerenja razina ovisiti će o mjernom principu na kojem se temelji samo mjerenje. Ultrazvučno mjerenje razina jedno je od najrasprostranjenijih mjernih principa. Pravilno odabran i instaliran ultrazvučni mjerni sustav može omogućiti dugogodišnji pouzdan rad, međutim za pravilan odabir i upotrebu ultrazvučnih transmitera neophodno je detaljno analizirati principe rada.

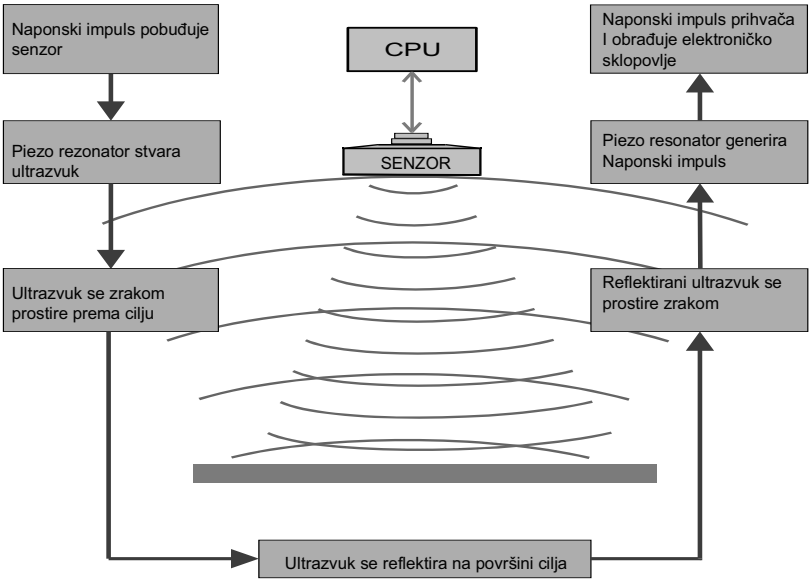
2. ULTRAZVUČNA MJERENJA RAZINA

Ultrazvučna mjerenja nivoa temelje se na mjerenju vremena od trenutka odašiljanja do trenutka prijema reflektiranog signala ,Slika 1.

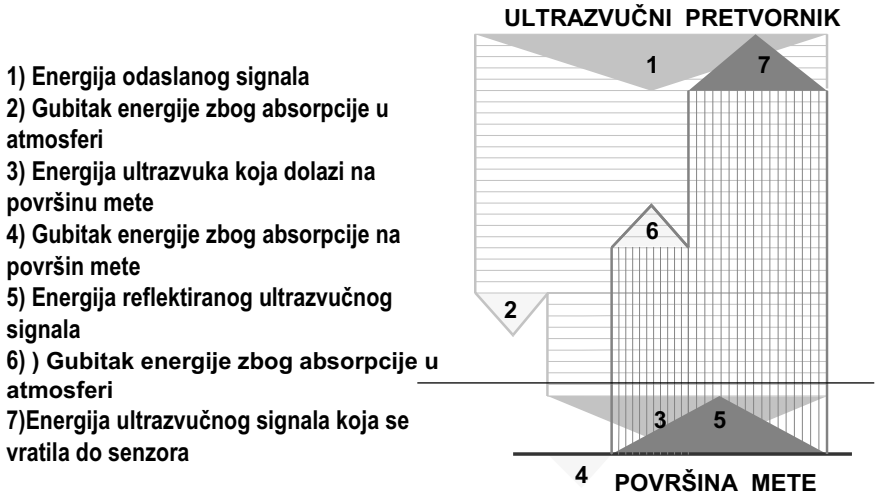


Slika1 Princip rada ultrazvučnog mjerenja udaljenosti

Senzor emitira NIZ impulsa i analizira reflektirane signale (Slika 2). Složeni softwerski algoritmi odvajaju signale smetnji od reflektiranih signala i proračunavaju udaljenost. Pouzdanost mjerenja pored kvalitete senzora znatno će ovisiti o mogućnosti softwera da filtrira smetnje.



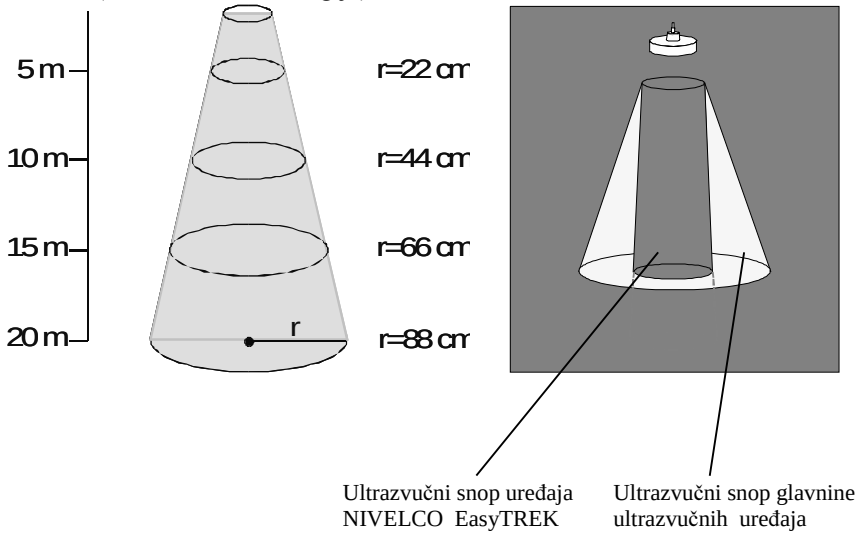
Slika 2 Princip rada ultrazvučnog senzora.



Slika 3 Gubitak energije ultrazvuka prostiranjem kroz zrak.

Na Slici 3 prikazani su gubici ultrazvučne energije prostiranjem kroz zrak.

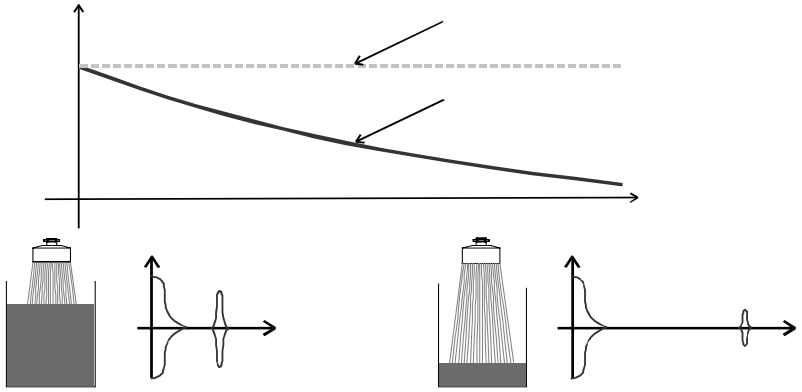
Samo jedan mali dio energije se vrača na ultrazvučni pretvornik. Za pouzdanost detekcije važno je da **<u>snop ultrazvuka bude što uži</u>** (prolazi između prepreka, lakše se probija kroz pjenu, veča energija dolazi na refleksionu površinu), i da površina pretvornika bude što veća (dolazi veči dio energije), Slika 4 .



Slika 4 Ultrazvučni transmiter NIVELCO EasyTREK ima vrlo uski snop što mogučuje pouzdan rad

Absorpcija u zraku ovisiti će o količini vlage, parama, prašini i u težim uvjetima rada

domet pretvornika odnosno dužina sigurne detekcije biti će smanjena. Zbog toga se za rad u teškim uvjetima rada preporuča upotreba pretvornika koji su deklarirani za veće dužine nego što će biti korištene (slika 5).



Slika 5 reflektirani signal sa udaljenije površine ima manju energiju i veče vrijeme kašnjenja

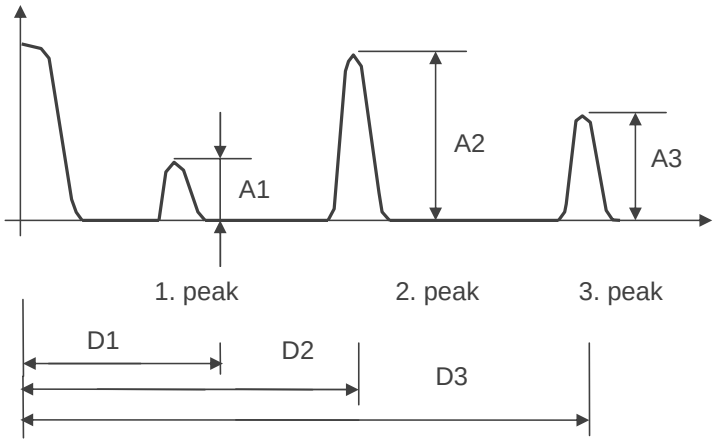
2.1. Software

Softwerski algoritmi (programi) za obradu ultrazvučnih signala dijele se u dvije skupine:

- programi za pouzdano mjerenje
- programi za svojstvene primjene (proračun protoka, proračun volumena itd.)

2.2. Programi za pouzdano mjerenje

Sam postupak ultrazvučnog mjerenja temelji se na mjerenju vremena između odaslanog i primljenog impulsa. Međutim pored odaslanih signala senzor će također prihvaćati i ostale ultrazvučne signale koji nastaju kao posljedice udaraca, eksplozija ili ostalih izvora ultrazvuka. Jednostavno mjerenje vremena odašiljanja i prijema impulsa u većini slučajeva bilo bi jako nepouzdano zbog smetnji koje se redovito javljaju u industrijskim postrojenjima. Jedan od algoritama obrade signala prikazan je na Slici 6.

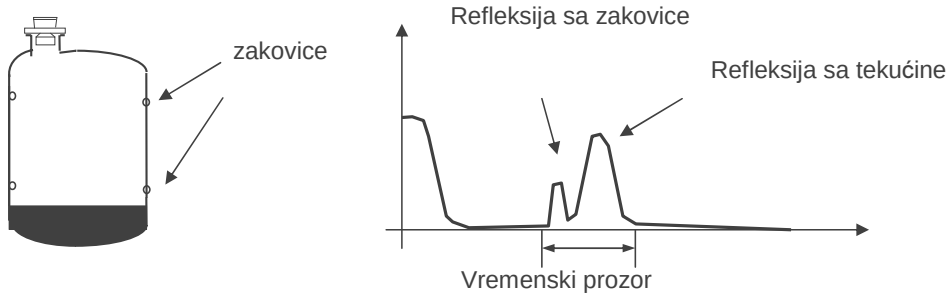


Peak [i]	Distance Di [m]	Amplitude Ai [dB]
1	1.5	-33
2	3	-10
3	5.1	-22

Slika 6 Obrada ultrazvučnog signala

Nakon odašiljnja impulsa uređaj osluškuje odaziv. Softwer analizira primljene signale i izdvaja vrijeme signala sa najvećom amplitudom (može se preprogramirati da izdvaja vrijeme prvog signala). Uređaj odašilje niz signala i obavlja usrednjavanje na 16 (ili 4) rezultata. Nakon što je nakon 16 mjerenja ustanovljena udaljenost cilja uređaj postavlja vremenski prozor za mjerenje refleksije - uređaj će osluškivati samo signale koji se javljaju u malom vremenskom razmaku oko dolaska signala najveće amplitude. Na taj način je izbjegnuto da smetnje velikih amplituda koje se javljaju izvan vremenskog prozora imaju utjecaj na rezultate mjerenja.

Na Slici 7 su prikazani signali refleksije sa zakovice i površine tekućine. Vremenski prozor je definiran i uređaj obrađuje najveći signal unutar vremenskog prozora. Važno je uočiti da signali smetnje koji se nalaze izvan vremenskog prozora neće imati utjecaj na mjerne rezultate bez obzira na svoj intenzitet.



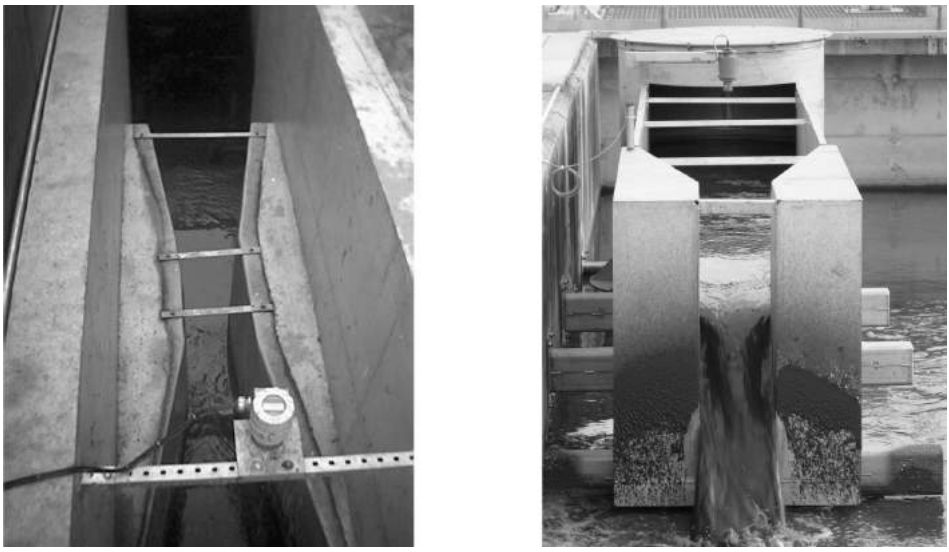
Slika 7 Prikaz signala dobivenih od zakovica i površine vode

Ultrazvučni transmiteri ne mogu mjeriti udaljenosti neposredno ispred senzora, nego imaju određenu mrtvu zonu (dead band). Ukoliko se u blizini senzora u detekcionoj zoni nalazi žica ili neki drugi reflektirajući predmet mogu nastati jaki signali smetnje koji mogu stvarati probleme. Da bi se to izbjeglo suvremeni ultrazvučni transmiteri imaju mogućnost programiranja (produljenja) mrtve zone a time mogućnost eliminiranja smetnje.

2.3. Komercijalno dobavljivi uređaji

Slika 8 Komercijalno dobavljivi uređaji

Komercijalno dobavljivi uređaji proizvode se u izvedbama sa ugrađenim displayem što će omogućiti očitavanje na licu mjesta kao i programiranje ili u zatvorenoj vodonepropusnoj izvedbi IP 68 koja će biti pogodna za primjenu kod voda i otpadnih voda.



Slika. 9 Mjerenje protoka na otvorenim kanalima

Ultrazvučni transmiteri redovito imaju i software za proračun protoka na otvorenim kanalima, pa se vodonepropusne izvedbe uspješno upotrebljavaju i u najtežim uvjetima.

ZAKLJUČAK

Ultrazvučna mjerenja razina i protoka na otvorenim kanalima mogu biti pouzdana osnova nadzornoupravljačkih sustava. Osnovni preduvjet je pravilan odabir uređaja i ispravna montaža. Širina ultrazvučnog snopa kao i kvaliteta softwera imati će značajnog utjecaja na samu pouzdanost mjerenja. Prilikom odabira opreme korisno je konzultirati stručnjake za mjernu tehniku kao i osoblje za montažu i održavanje sustava i instrumenata.

LITERATURA

[1] Damir Žibrat , 16. međunarodno savjetovanje HDO 25 -27 svibnja 2010 Šibenik "Održavanje i upotreba ultrazvučnih nivometara i pH transmitera nove generacije."

[2] NIVELCO EasyTREK technical manual

[3] NIVELCO EchoTREK technical manual

AUTOR

Damir Žibrat, dipl.ing [a]

[a] NIVELCO Messtechnik GmbH, Alois-Stummer-Gasse 4, 2326 Maria Lanzendorf, AUSTRIA; *dzibrat@nivelco.com , damir.zibrat@utanet.at*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.24.

AKTIVNOSTI KOJE UTJEČU NA STANJE VODA

Alena Vlašić, Mira Filipović

SAŽETAK: Plan upravljanja vodnim područjima obuhvaća, za svako vodno područje zasebno, sažetak značajnijih opterećenja (pritisaka) i utjecaja ljudskih aktivnosti na stanje površinskih voda, uključivo i priobalnih voda te podzemnih voda.

Opterećenje je neposredni učinak ljudske aktivnosti koji može izazvati promjenu pojedinih elemenata kakvoće voda, odnosno pogoršanje stanja voda, kao što su zahvaćanje vode iz prirodnih ležišta, ispuštanje onečišćujućih tvari u vode, fizički zahvati na vodama, zahvati u sastav i bogatstvo vodene flore i faune.

U radu se daje pregled ljudskih aktivnosti koje su pokretači značajnih opterećenja na vode na vodnom području rijeke Dunav i jadranskom vodnom području te se procjenjuje opseg i priroda generiranih opterećenja uzimajući u obzir konkretne vodne prilike i izdane koncesije za korištenje voda i vodopravne akte kao i druge raspoložive podatke o korisnicima i onečišćivačima voda.

KLJUČNE RIJEČI: Opterećenje, Izvor opterećenja, Onečišćenje voda, Korištenje vodnog resursa, Hidromorfološko opterećenje, Biološko opterećenje.

ACTIVITIES AFFECTING THE STATUS OF WATER

SUMMARY: A River Basin Management Plan includes, for each river basin district, a summary of significant pressures and impacts of human activities on the status of surface water, including coastal waters, and groundwater.

A pressure is an immediate impact of human activity which may lead to the modification of particular water quality elements or degradation in the status of water, such as abstraction of water from natural deposits, discharge of pollutants into water, physical interventions on water bodies, interventions into the composition and abundance of aquatic flora and fauna.

The paper presents human activities which are drivers of significant pressures to water bodies in the Danube and Adriatic river basin districts. It assesses the magnitude and nature of generated pressures, taking into account specific water-related circumstances and the issued water use concessions and water rights acts, as well as other available data on water users and water polluters.

KEY WORDS: Pressure, Source of pressure, Water pollution, Water resource use, Hydromorphological pressure, Biological pressure.

1. UVOD

Plan upravljanja vodnim područjima obuhvaća, za svako vodno područje zasebno, sažetak značajnijih opterećenja (pritisaka) i utjecaja ljudske aktivnosti na stanje površinskih voda, uključivo i priobalnih voda te podzemnih voda. Opterećenje voda je posljedica korištenja voda u najširem smislu riječi. U kontekstu Okvirne direktive o vodama, korištenjem voda se smatraju sve ljudske djelatnosti na vodnom području koje imaju značajan utjecaj na stanje voda. To je proširenje standardnog poimanja korištenja voda kojim je, u prvom redu, obuhvaćeno korištenje vodnoga resursa i vodnoga dobra, a ne i druge djelatnosti koje imaju značajan utjecaj na stanje voda, primjerice korištenje voda kao recipijenta otpadnih voda.

Ljudske aktivnosti u slivu su pokretači opterećenja na vode, bilo neposredno ili putem javnih vodnih usluga i službi (usluga javne vodoopskrbe i javne odvodnje, zaštita od poplava i slično), koje posreduju između vode u okolišu i stvarnih korisnika.

2. PROCJENA OPTEREĆENJA NA VODE

Opterećenje je neposredni učinak ljudske aktivnosti koji može izazvati promjenu pojedinih elemenata kakvoće voda, odnosno pogoršanje stanja voda, kao što su zahvaćanje vode iz prirodnih ležišta, ispuštanje onečišćujućih tvari u vode, fizički zahvati na vodama, zahvati u sastav i bogatstvo vodene flore i faune. Uzevši u obzir konkretne vodne prilike i izdane koncesije i vodopravne akte, moguće je izdvojiti sektore i djelatnosti, odnosno korisnike koji su pokretači značajnih opterećenja na vode na vodnom području rijeke Dunava te na jadranskom vodnom području.

Značajni pokretači opterećenja na vodni resurs (zahvaćanjem voda iz prirodnih ležišta) su:

- kućanstva, posredno, putem sustava javne vodoopskrbe,
- pojedine grane prerađivačke industrije, zahvaćanjem vode za tehnološke potrebe,
- energetski sektor, zahvaćanjem vode za hlađenje termoenergetskih postrojenja.

Značajni pokretači kemijskog i fizičko-kemijskog onečišćenja voda su:

- kućanstva, posredno, putem sustava javne odvodnje (urbanizirana područja), i neposrednim nekontroliranim ispuštanjem otpadnih voda u okoliš (ruralna područja),
- pojedine grane prerađivačke industrije, osobito: prehrambena, metalna i metaloprerađivačka, kemijska,
- poljoprivreda, kroz nekontrolirane stočne farme i korištenje mineralnih gnojiva u ratarskoj proizvodnji,
- dotok onečišćenja s drugih teritorija,
- plovidba, kroz nekontrolirano i protupravno odlaganje krutog i tekućeg otpada u morski okoliš (jadransko vodno područje).

Značajni pokretači hidromorfoloških promjena su:

- vodno gospodarstvo, uređenjem voda i zaštitom od štetnog djelovanja voda,
- poljoprivreda, uređivanjem vodnog režima na poljoprivrednim površinama,
- energetski sektor, izgradnjom hidroenergetskih postrojenja,
- prometni sektor, izgradnjom i održavanjem luka i plovnih puteva na unutarnjim vodama na vodnom području rijeke Dunav,

- urbanizam, turizam i prometni sektor, izgradnjom i uređivanjem obala, kupališta i lučke infrastrukture na jadranskom vodnom području.

Značajni pokretači biološkog opterećenja na jadranskom vodnom području su:

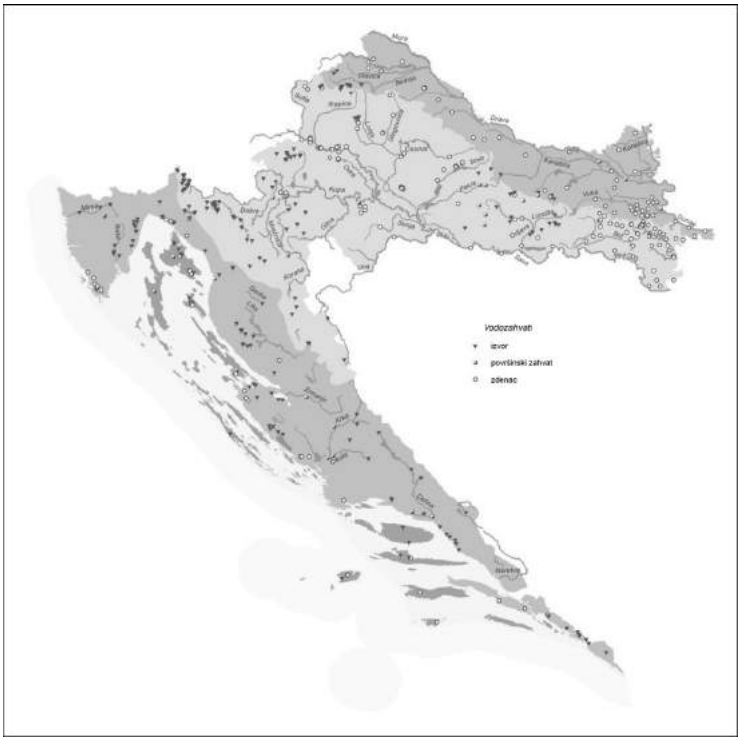
- ribarstvo, osobito izlov morskih organizama povlačnim ribarskim alatima,
- unos stranih organizama.

Na vodnom području rijeke Dunav nisu registrirani značajni izvori biološkog opterećenja voda.

2.1. Pokretači opterećenja na vodni resurs

U Republici Hrvatskoj izdano je 996 koncesija za korištenje voda. 37% izdanih koncesija odnosi se na zahvaćanje vode za javnu vodoopskrbu, 45% su koncesije za zahvaćanje vode za tehnološke namjene, 3% su koncesije za korištenje vodne snage, 7% koncesije ribnjacima. Dakle, većina koncesija odnosi se na zahvaćanje voda za javnu vodoopskrbu i tehnološke namjene. Izdanim koncesijama dodijeljeno je pravo zahvaćanja oko $1.330*10^6$ m^3 vode godišnje od čega je 61% podzemna, a 39% površinska voda.

Na koncesije za zahvaćanje voda za javnu vodoopskrbu otpada oko $824*10^6$ m^3 vode godišnje, s još većim udjelom podzemne vode (88%) u ukupno dodijeljenim količinama.



Slika 1. Prostorni raspored vodozahvata za javnu vodoopskrbu

Na vodnom području djeluje 151 davatelj usluge javne vodoopskrbe. Sustavima javne vodoopskrbe pokriveno je 3,86 milijuna stanovnika vodnog područja (94% ukupnog broja stanovnika jadranskog vodnog područja i 84% ukupnog broja stanovnika vodnog područja rijeke Dunav). Broj priključenih stanovnika je nešto niži i iznosi 3,57 milijuna stanovnika (91% ukupnog broja stanovnika jadranskog vodnog područja, odnosno 75,5% ukupnog broja stanovnika vodnog područja rijeke Dunav). Prostorni raspored vodozahvata za javnu vodoopskrbu prikazan je na slici 1.

2.2. Pokretači kemijskog i fizičko-kemijskog onečišćenja voda

2.2.1. Onečišćenje iz točkastih izvora

Evidentirano je 245 sustava komunalne odvodnje s vodopravnom dozvola za ispuštanje komunalnih otpadnih voda. Na njih je priključeno 1,959 milijuna stanovnika (44% ukupnog broja stanovnika). Pročišćavanjem otpadnih voda obuhvaćeno je oko 1,421 milijun priključenih stanovnika (32% ukupnog stanovništva), na ukupno 90 uređaja za pročišćavanje otpadnih voda različitoga stupnja pročišćavanja. Najvećim dijelom radi se samo o prethodnom stupnju pročišćavanja i podmorskom ispustu na jadranskom vodnom području, odnosno o II. stupnju pročišćavanja na vodnom području rijeke Dunav.

Onečišćenje od stanovništva se prati preko pokazatelja onečišćenja organskim tvarima (BPK_5, KPK) i hranjivim tvarima (ukupni dušik, ukupni fosfor). Ukupno onečišćenje od stanovništva preko sustava javne odvodnje, procijenjeno na temelju broja priključenih stanovnika, pretpostavljene specifične emisije po stanovniku i pretpostavljenog uklanjanja onečišćenja na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, tamo gdje takav uređaj postoji, prikazano je u tablici 1.

Postojeći stupanj pročišćavanja uređaja	broj sustava	broj stanovnika	BPK_5	KPK	N	P
VODNO PODRUČJE RIJEKE DUNAV						
bez	87	419.681	9.191	16.850	1.348	314
Prethodni	1	13.957	306	560	45	10
I	11	69.414	1.216	2.090	203	47
II	18	774.905	5.091	7.778	1.618	464
III	1	12.405	14	75	12	2
Ukupno	118	1.290.362	15.818	27.354	3.226	837
JADRANSKO VODNO PODRUČJE						
bez	68	127.798	2.799	5.131	410	96
Prethodni	28	423.637	9.278	17.009	1.361	317
I	7	34.193	599	1.030	100	23
II	24	83.173	546	835	174	50
III						
Ukupno	127	668.801	13.222	24.005	2.045	485
REPUBLIKA HRVATSKA						
UKUPNO	245	1.959.163	29.040	51.359	5.271	1.322

Tablica 1. Procijenjeni teret onečišćenja od stanovništva na ispustima komunalnih otpadnih voda (2009.)

Gospodarskim subjektima je izdano 285 vodopravnih dozvola za ispuštanje tehnoloških i sličnih otpadnih voda. 91 izdana vodopravna dozvola, ili 32% ukupnoga broja, odnosi se na postrojenja koja podliježu odredbama IPPC direktive (Direktive o integriranom sprečavanju i kontroli onečišćenja). Za takva se postrojenja moraju pribaviti objedinjeni uvjeti zaštite okoliša, koji će uključivati i uvjete korištenja i zaštite voda, na način i u rokovima propisanima Zakonom o zaštiti okoliša. Najveći dio vodopravnih dozvola odnosi se na industrijska postrojenja. Ostalim djelatnostima izdano je 67 vodopravnih dozvola ili 17% ukupnoga broja. U tablici 2. naveden je pregled vodopravnih dozvola za ispuštanje otpadnih prema djelatnosti gospodarskog subjekta.

Onečišćenje iz gospodarstva se prati preko većeg broja onečišćujućih tvari koje su prisutne u otpadnim vodama pojedinih gospodarskih djelatnosti, uključujući prioritetne i prioritetno opasne tvari. Procjena opterećenja onečišćujućim tvarima iz gospodarstva temelji se na podacima o godišnjim količinama ispuštenih otpadnih voda i srednjih vrijednosti koncentracija iz analiza otpadnih voda korisnika pohranjenih u bazi podataka Hrvatskih voda.

Djelatnost	VODNO PODRUČJE RIJEKE DUNAV				JADRANSKO VODNO PODRUČJE				REPUBLIKA HRVATSKA			
	ukupno		IPPC		ukupno		IPPC		ukupno		IPPC	
	ukupno	ispuštanje u sustave javne odvodnje	ukupno	ispuštanje u sustave javne odvodnje	ukupno	ispuštanje u sustave javne odvodnje	ukupno	ispuštanje u sustave javne odvodnje	ukupno	ispuštanje u sustave javne odvodnje	ukupno	ispuštanje u sustave javne odvodnje
Prozvodnja hrane, pića i duhanskih proizvoda	73	53	16	11	23	10	2	1	96	63	18	12
Proizvodnja tekstila, kože, tekstilnih i kožnih proizvoda	11	6	1	1	2	1			13	7	1	1
Prerada drva, proizvodi od drva, celuloze i papira	9	4	2	2	3		2		12	4	4	2
Proizvodnja kemikalija, kemijskih, gumenih i plastičnih proizvoda	21	18	15	13	2		2		23	18	17	13
Proizvodnja ostalih nemetalnih proizvoda	20	7	14	5	8		7		28	7	21	5
Proizvodnja i prerada metala, strojeva, uređaja, vozila, električne i optičke opreme	31	26	7	4	15	4	9	2	46	30	16	6
Opskrba električnom energijom	9	5	7	4	2		2		11	5	9	4
Proizvodnja naftnih derivata	4	2	3	1	3		1		7	2	4	1
Ostalo	35	19	0	0	14		1		49	19	1	0
UKUPNO	213	140	65	41	72	15	26	3	285	155	91	44

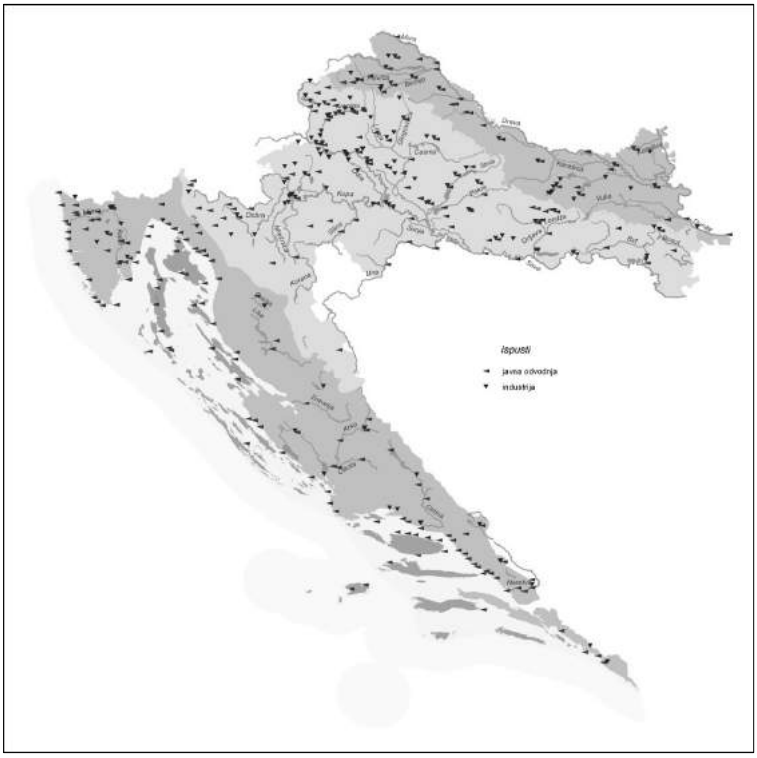
Tablica 2. Pregled vodopravnih dozvola za ispuštanje otpadnih prema djelatnosti

Više od polovine (155) izdanih vodopravnih dozvola odnosi se na ispuštanje otpadnih voda u sustave javne odvodnje, za koje se propisuje obvezni predtretman otpadnih voda, odnosno prethodno uklanjanje svih specifičnih onečišćujućih tvari nastalih u tehnološkom procesu. Ovakav način ispuštanja otpadnih voda karakterističan je za vodno područje ri-

jeke Dunav gdje se dvije trećine vodopravnih dozvola odnosi na ispuštanje tehnoloških otpadnih voda u sustave javne odvodnje.

U onečišćenju iz točkastih izvora na vodnom području rijeke Dunav stanovništvo sudjeluje s više od 70% ukupnog tereta organskih tvari i 90% ukupnog tereta hranjivih tvari. Na jadranskom vodnom području 95% ukupnog tereta i organskih i hranjivih tvari dolazi od stanovništva. Unos ostalih onečišćujućih tvari prati se samo za onečišćivače iz gospodarstva.

Na slici 2. prikazan je prostorni raspored točkastih onečišćenja.



Slika 2. Prostorni raspored točkastih onečišćenja

2.2.2. Onečišćenje iz raspršenih izvora

Onečišćenje iz raspršenih izvora je vrlo grubo procijenjeno iz bilance onečišćujućih tvari u površinskim vodama, na temelju rezultata monitoringa kakvoće voda. Analiza je provedena samo za onečišćenje hranjivim tvarima (ukupni dušik, ukupni fosfor) i sljedeće grupe raspršenih izvora onečišćenja:

- stanovništvo bez priključka na sustav javne odvodnje,
- stočne farme,
- poljoprivredne površine.

Na sustave javne odvodnje nije priključeno oko 2,5 milijuna stanovnika od čega 722.800

stanovnika na jadranskom vodnom području, odnosno oko 1.755.500 na vodnom području rijeke Dunav. Ovaj dio stanovništva sudjeluje u raspršenom opterećenju.

Emisija onečišćenja od stočarstva procijenjena je iz podataka o stočnom fondu iz Registra domaćih životinja koji vodi Centar za stočarstvo i pretpostavljenoj specifičnoj proizvodnji dušika i fosfora po vrstama stoke. U Republici Hrvatskoj registrirano je oko 94 tisuće farmi s oko 925 tisuća uvjetnih grla što iznosi oko 9,83 uvjetna grla po jednoj farmi. 85% farmi se nalazi na vodnom području rijeke Dunav. Prostorni raspored farmi u odnosu na raspoložive poljoprivredne površine u slivovima pojedinih rijeka se znatno razlikuje i na pojedinim vodotocima se mogu naći područja gdje je prosječan broj uvjetnih grla po hektaru raspoložive poljoprivredne površine veći od 2. Na takvim dijelovima vodotoka može se očekivati povećano opterećenje ukupnim dušikom i ukupnim fosforom.

Primjena mineralnih gnojiva u ratarstvu procijenjena je iz podataka o proizvodnji i uvozu mineralnih gnojiva. Na hrvatskom se tržištu godišnje stavi u promet gotovo 500 tisuća tona mineralnih gnojiva različitog kemijskog sastava. U odnosu na ukupne poljoprivredne površine, to iznosi prosječno 73 kg/ha dušika i 41 kg/ha fosfora. Glavnina hranjivih tvari na poljoprivrednim površinama dolazi iz mineralnih gnojiva.

Dotok onečišćenja s drugih teritorija kontrolira se samo na ulaznim profilima većih prekograničnih rijeka.

Na jadranskom slivnom području postoji i onečišćenje od plovidbe uzrokovano nesavjesnim i protupravnim odlaganjem krutog otpada (uglavnom ambalaža i hrane) i tekućeg otpada (zauljene vode) u morski okoliš.

2.3. Pokretači hidromorfoloških promjena

Glavni pokretači hidromorfoloških promjena su fizički zahvati u vodnom sustavu, osobito građenje i održavanje vodnih građevina za različite namjene.

Uređenje voda i zaštita od štetnog djelovanja voda uključuje građenje i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, održavanje vodotoka i drugih voda i druge radove i mjere kojima se omogućuje kontrolirani i neškodljivi protok voda i njihovo namjensko korištenje. Umjesto parcijalnih rješenja, prednost se daje višenamjenskim sustavima uređenja i korištenja voda, koji su, u pravilu, gospodarski povoljni i ekološki prihvatljivi. Njihov razvoj bio je osobito intenzivan u drugoj polovici dvadesetoga stoljeća, sve do početka devedesetih, kada je uglavnom zaustavljen.

Uređenje vodnog režima na poljoprivrednim površinama je odvođenje suvišnih voda s poljoprivrednoga i drugog zemljišta putem odgovarajućih vodnih građevina i uređaja kojima se neposredno ili posredno omogućuje brže i pogodnije otjecanje površinskih ili podzemnih voda i osiguravaju povoljniji uvjeti korištenja zemljišta i obavljanja gospodarskih i drugih djelatnosti. U cjelini gledano, stanje uređenosti danas nije zadovoljavajuće, usprkos postojanju brojnih sustava melioracijske odvodnje.

Hidroenergija je važan izvor primarne energije u Hrvatskoj. Ovisno o hidrološkim prilikama, na nju otpada i više od 50% vlastite proizvodnje električne energije. Ukupno su izdane 34 koncesije za iskorištavanje vodnih snaga za proizvodnju električne energije (18 na vodnom području rijeke Dunav i 16 na jadranskom vodnom području). Za potrebe tih elektrana izgrađen je niz višenamjenskih akumulacija i iskorištene su hidroenergetski najpovoljnije lokacije. Veliki hidroenergetski sustavi znatno utječu na promjenu vodnih

režima rijeka.

Vodni putovi na vodnom području rijeke Dunav dio su europskog plovnog sustava i, kao takvi, moraju se graditi i uređivati u skladu sa standardima koji su propisani za pojedine kategorije plovnosti. Rijeka Dunav u Hrvatskoj je u svojoj cijeloj duljini od 138 km međunarodni vodni put. Rijeka Drava je međunarodni vodni put od ušća do Belišća (70 rkm), a nastavno do 198 rkm je međudžavni vodni put između Republike Mađarske i Republike Hrvatske. Vodni putovi na kojima vrijedi međudržavni režim plovidbe su i Sava od Račinovaca do Siska u duljini od 376 km, rijeka Kupa u dužini od 6 km i rijeka Una u dužini od 15 km.

Najvažniji izvor hidromorfoloških problema na priobalnim vodama je izgradnja obala i lukobrana koja bitno i gotovo nepovratno mijenja morski ekosustav i okoliš.

2.4. Pokretači bioloških opterećenja

U izlovu morskih organizama koriste se povlačni ribarski alati (koča, rampon, dredža i drugo) čiji negativni utjecaj je osobito izražen u odnosu na morske beskralježnjake koji čine značajan dio ribarskog prilova. Temeljem poznatih pokazatelja procijenjeno je da se tijekom godine koča povlači na preko 48 000 km^2 morskog dna, što znači da se u površinskom sloju sedimenta znatno smanjuje biomasa beskralježnjaka.

Točan broj stranih (alohtonih) organizama na području prijelaznih i priobalnih voda nije poznat. Jedan od osnovnih razloga je nedovoljna istraženost vodnih tijela. Najčešći način širenja stranih organizama su brodovi i to putem balastnih voda i obraštaja trupa.

ZAKLJUČAK

Kumulativni utjecaj ljudskih djelatnosti na vodama i vodnom području u cjelini vidljiv je iz promjene stanja voda. Pojedine antropogene aktivnosti odnosno opterećenja voda koje te aktivnosti čine na razne načine utječu na stanje voda i dovode do pogoršanja pojedinih elemenata kakvoće voda i njihovog odstupanja od referentnog ili propisanog stanja. Upravnim aktima su dobro uređena koncentrirana (točkasta) opterećenja voda i njih je moguće dosta pouzdano kvantificirati, na temelju podataka iz očevidnika o korištenju voda i ispuštanju otpadnih voda koji se vode sukladno koncesijskom ugovoru, odnosno vodopravnoj dozvoli. Problem predstavljaju difuzna (raspršena) opterećenja, kod kojih veza između izvora i vodnoga okoliša nije dovoljno poznata. Bez analize značajnijih opterećenja (pritisaka) i utjecaja ljudske aktivnosti na stanje površinskih i podzemnih voda, koja uključuje procjenu onečišćenja iz točkastih izvora, procjenu onečišćenja iz raspršenih izvora uključivo i pregled korištenja zemljišta, procjenu pritisaka na količinsko stanje voda, uključujući zahvaćanje voda, te analizu drugih utjecaja ljudske aktivnosti na stanje voda, nije moguće izraditi program osnovnih i dopunskih mjera nužnih za ostvarenje ciljeva zaštite voda a to je dobro stanje svih voda u skladu s propisanim standardima kakvoće.

LITERATURA

[1] Direktiva o komunalnim otpadnim vodama 91/271/ EEZ

[2] Direktiva o integriranom sprečavanju i kontroli onečišćenja (IPPC) 2008/1/EZ

[3] Okvirna direktiva Europske unije o vodama, 2000/60/EZ

[4] Plan upravljanja vodnim područjima - Nacrt

[5] Plan upravljanja vodnim područjima - Nacrt : Dodatak I - Analiza značajki vodnog područja rijeke Dunav

[6] Plan upravljanja vodnim područjima Dodatak II - Analiza značajki jadranskog vodnog područja

[7] Strategija upravljanja vodama (“Narodne novine”, br. 91/08)

[8] Zakon o vodama (“Narodne novine”, br. 153/09)

[9] Zakon o zaštiti okoliša (“Narodne novine”, br. 110/07)

AUTORI

Alena Vlašić, dipl. ing. bioteh. [a]
Mira Filipovi, dipl. ing. fizike [b]

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska
avlasic@voda.hr

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska
mira.filipovic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.25.

PREGLED TIPOVA POVRŠINSKIH VODA S PRIJEDLOGOM NAJBOLJIH MJESTA IZABRANIH NA OSNOVU KEMIJSKIH ELEMENATA KOJI PRATE BIOLOŠKE ELEMENTE

Tina Miholić, Darko Barbalić, Đorđa Medić

SAŽETAK: Postizanje ekoloških ciljeva prema Zakonu o vodama provjerava se procjenom ekološkog stanja vodnih tijela, što zahtjeva prethodnu tipizaciju površinskih voda. Površinske vode prostorno se raspoređuju u tipove prema unaprijed zadanim kriterijima koji rezultiraju specifičnim ekološkim obilježjima. U Republici Hrvatskoj tipizacija površinskih voda je napravljena primjenjujući sustav B, prema rezultatima istraživanja Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu.

Ekološko stanje površinskih voda utvrđuje se, biološkim, hidromorfološkim i kemijskim i fizikalno-kemijskim elementima koji prate biološke elemente (Narodne novine, 2010). Kao pokazatelji stanja površinskih voda- tekućica, određenog kemijskim i fizikalno-kemijskim elementima koji prate biološke elemente, korišteni su BPK5 i KPK-Mn, (uvjeti režima kisika) te ukupni dušik i ukupni fosfor (hranjive tvari), jer se navedeni pokazatelji koriste u sustavnom nacionalnom monitoringu površinskih voda. Granice klasa navedene su u Prilogu 9B i 9C Uredbe o standardu kakvoće voda. Korištene su vrijednosti navedenih pokazatelja iz sustavnog nacionalnog monitoringa kakvoće površinskih voda iz 2009. godine te metoda procjene stanja voda definirana za potrebe izrade planova upravljanja vodnim područjima. Njome je na međuslivovima između stanica monitoringa provedeno bilanciranje mjerodavnih vrijednosti navedenih pokazatelja.

U radu je iznesen pregled tipova površinskih voda te prijedlog mjesta s najboljim vrijednostima navedenih kemijskih i fizikalno-kemijskih pokazatelja na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske, koji se mogu razmatrati i kao podloga za odabir referentnih mjesta.

KLJUČNE RIJEČI: stanje voda, tipovi površinskih voda, Planovi upravljanja vodnim područjima, referentna mjesta

OVERVIEW OF SURFACE WATER TYPES WITH A PROPOSAL OF THE BEST SITES SELECTED ON THE BASIS OF CHEMICAL ELEMENTS SUPPORTING THE BIOLOGICAL ELEMENTS

ABSTRACT: Achievement of ecological objectives according to the Water Act is verified by ecological status assessment of water bodies, which requires a prior typification of

surface waters. Surface waters are spatially distributed in types according to previously established criteria, which result in specific ecological characteristics. In the Republic of Croatia, surface water typification is developed by application of the B system, according to research results of the Faculty of Science in Zagreb.

Ecological status of surface waters is determined by biological, hydromorphological and chemical and physico-chemical elements supporting the biological elements (Official Gazette, 2010). Parameters of surface water status - running waters, determined by chemical and physico-chemical elements supporting the biological elements, were BOD5 and COD-Mn (oxygen conditions) and total N and total P (nutrients), because stated parameters are used in systematic national water quality monitoring of surface waters.

The class boundaries are stated in Annexes 9B and 9C of the Regulation on Water Quality Standard. The applied values of the stated parameters are from the systematic national water quality monitoring of surface waters from 2009, while the method of water status assessment was defined for the purpose of development of river basin management plans. It was used to balance reference values of the stated parameters at monitoring stations between the river basins.

The paper presents an overview of surface water types and proposes points with best values of the stated chemical and physico-chemical parameters on the entire territory of the Republic of Croatia, which can be considered as supporting data for selection of the reference sites.

KEY WORDS: water status, surface water types, river basin management plans, reference sites

1. UVOD

Okvirnom Direktivom o vodama (ODV) (Hrvatske vode, 2002) uspostavljen je okvir za djelovanje Europske unije (EU) na području politike voda, koji zahtjeva od država članica da razvrstaju cjeline površinske vode u tipove. Tipizacija predstavlja primarnu podjelu površinskih voda temeljem određenog broja čimbenika, koji određuju prirodna ekološka obilježja voda, a koji mogu biti zadani (tipizacijski sustav A), ili birani (tipizacijski sustav B). Hrvatska se načelno odlučila za tipizacijski sustav B, jer je fleksibilniji te omogućuje definiranje tipologije koja adekvatnije opisuje ekološku raznolikost površinskih voda. Sustav B uključuje razvrstavanje po obaveznim obilježjima tipizacijskog sustava A te po dodatnim izabranim čimbenicima.

Svakom tipu površinske vode pridružuju se granice klasa za relevantne elemente kakvoće, koji su temelj klasifikacije ekološkog stanja. Osnovni nedostatak kod izbora elemenata kakvoće i granica klasa za sve tipove površinskih voda je skroman biološki monitoring sa vrlo malim brojem bioloških elemenata kakvoće. Stoga je procjena stanja za potrebe planova upravljanja vodnim područjima (Hrvatske vode, 2010) izvršena, između ostalog, temeljem fizikalno-kemijskih elemenata, koji prate biološke elemente i podržavaju funkcioniranje ekološkog sustava. Na taj način izabrana su i najbolja mjesta na određenim tipovima površinskih voda sukladno prelaznim odredbama Uredbe (Narodne novine, 2010).

2. PREGLED TIPOVA POVRŠINSKIH VODA

Osnovu tipizacije čini utvrđivanje pripadnosti površinskih voda određenoj hidrografskoj i limnofaunističkoj ekoregiji. Područje Hrvatske pokriveno je dvjema kopnenim ekoregijama - Panonskom i Dinarskom, koja sadrži još dvije subekoregije - kontinentalnu i primorsku. Za daljnju diferencijaciju tekućica korišteni su obavezni čimbenici - veličina slivnog područja, nadmorska visina i geološka podloga te izborni abiotički čimbenik - protok.Za tekućice dinarskog krša korišteni su dodatni izborni čimbenici: povremenost toka, sedrotvornost i poniranje. Za stajaćice korištena su četiri obavezna čimbenika za tipizaciju jezera: nadmorska visina, dubina, površina i geološka podloga. (Sveučilište u Zagrebu, 2004, Sveučilište u Zagrebu, 2005, Sveučilište u Zagrebu, 2008).

Ekološki tipovi tekućica						
Ekoregija	Nacionalni kod (HR Tip)	Naziv i opis	Veličina slivnog područja (km^2)	Nadmorska visina (mnm)	Geološka podloga*	Protok (m^3/s)
PANONSKA	1A	Gorski vodotoci malih tekućica u silikatnoj podlozi	10 -100	600-800	S	<2
	2A	Prigorski vodotoci malih tekućica u silikatnoj podlozi	10 -100	200-600	S	<2
	2B	Prigorski vodotoci malih tekućica u vapnenačkoj podlozi	10 -100	200-600	V	<2
	3A	Nizinski vodotoci malih tekućica u silikatnoj podlozi	10 -100	<200	S	<2
	3B	Nizinski vodotoci malih tekućica u organogenoj podlozi	10 -100	<200	O	<2
	3C	Nizinski vodotoci malih tekućica u vapnenačkoj podlozi	10 -100	<200	V	<2
	4A	Prigorski vodotoci srednje velikih tekućica u silikatno-vapnenačkoj podlozi	100-1000	200-600	V/S	2-20
	4B	Nizinski vodotoci srednje velikih tekućica u silikatnoj podlozi	100 -1000	<200	S	2-20
	4C	Nizinski vodotoci srednje velikih tekućica u silikatno-organogenoj podlozi	100 -1000	<200	S/O	2-20
	4D	Nizinski vodotoci srednje velikih tekućica u vapnenačkoj podlozi	100 -1000	<200	V	2-20
	5A	Nizinski vodotoci velikih tekućica u vapnenačko-silikatnoj podlozi	1000 -10000	<200	V/S	>20
	5B	Nizinski vodotoci velikih tekućica u silikatnoj podlozi	1000 -10000	<200	S	>20
	5C	Nizinski vodotoci velikih tekućica u silikatno-organogenoj podlozi	1000 -10000	<200	S/O	>20
	6A	Nizinski vodotoci vrlo velikih tekućica u silikatnoj podlozi čiji je sliv lociran u vapnenačkom području	>10000	<200	S	>20
	7A	Nizinski vodotoci gornjeg toka vrlo velikih tekućica u silikatnoj podlozi	>10 000	<200	S	>20
	7B	Nizinski vodotoci gornjeg toka vrlo velikih tekućica u vapnenačkoj podlozi	>10 000	<200	V	>20
	8B	Nizinski vodotoci srednjeg toka vrlo velikih tekućica u silikatnoj podlozi (Savski sliv)	>10 000	<200	S	>20
	9A	Nizinski vodotoci donjeg toka vrlo velikih tekućica u silikatnoj podlozi (Dravski sliv)	>10 000	<200	S	>20
	9B	Nizinski vodotoci donjeg toka vrlo velikih tekućica u silikatnoj podlozi (Savski sliv)	>10 000	<200	S	>20
	10A	Nizinski vodotoci vrlo velikih tekućica u siliaktnoj podlozi (Dunav)	>10 000	<200	S	>20
DINARSKA KONTINENTALNA EKOREGIJA	11A	Gorski vodotoci malih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	600-800	V	<2
	11B	Gorski vodotoci malih sedrotvornih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	600-800	V	<2
	12A	Prigorski vodotoci malih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	<2
	12B	Prigorski vodotoci malih povremenih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	<2
	12C	Prigorski vodotoci malih sedrotvornih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	<2
	12D	Prigorski vodotoci srednje velikih sedrotvornih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	2-20
	13A	Prigorski vodotoci malih ponornica u vapnenačkoj podlozi krša slivnog područja Jadranskog mora	10-100	200-600	V	<2
	13B	Prigorski vodotoci srednje velikih ponornica u vapnenačkoj podlozi krša slivnog područja Jadranskog mora	100-1000	200-600	V	2-20
	14A	Prigorski vodotoci velikih sedrotvornih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	1000-10000	200-600	V	2-20
	14B	Nizinski vodotoci velikih sedrotvornih tekućica u vapnenačkoj podlozi	1000-10000	<200	V	2-20
	14C	Nizinski vodotoci velikih tekućica u vapnenačkoj podlozi	1000-10000	<200	V	>20

DINARSKA PRIMORSKA EKOREGIJA	**15A**	Prigorski mali vodotoci primorskih stalnih tekućica u vapnenačko-silikatnoj podlozi krša	10-100	200-600	V/S	<2
	15B	Nizinski mali vodotoci primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	<200	V	<2
	16A	Prigorski mali vodotoci primorskih povremenih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	<2
	16B	Prigorski mali vodotoci primorskih povremenih tekućica u vapnenačko-silikatnoj podlozi krša	10-100	200-600	V/S	<2
	17A	Prigorski vodotoci srednje velikih primorskih stalnih sedrotvornih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	2-20
	18A	Prigorski vodotoci srednje velikih primorskih povremnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	200-600	V	2-20
	19A	Nizinski vodotoci srednje velikih primorskih povremenih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	10-100	<200	V	2-20
	20A	Prigorski vodotoci srednje velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačko-silikatnoj podloga krša	100-1000	200-600	V/S	2-20
	20B	Prigorski vodotoci srednje velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	100-1000	200-600	V	2-20
	21A	Nizinski vodotoci srednje velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	100-1000	<200	V	2-20
	21B	Nizinski vodotoci srednje velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačko-silikatnoj podlozi krša	100-1000	<200	V/S	2-20
	22A	Prigorski vodotoci velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	1000-10000	200-600	V	>20
	23A	Nizinski vodotoci velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačko-silikatnoj podlozi krša	1000-10000	<200	V/S	>20
	23B	Nizinski vodotoci velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša	1000-10000	<200	V	>20
	24A	Prigorski vodotoci malih primorskih povremenih tekućica u vapnenačkoj podlozi krških polja	10-100	200-600	V	<2
	25A	Nizinski vodotoci malih primorskih povremenih tekućica u vapnenačkoj podlozi krških polja	10-100	<200	V	<2
	26A	Prigorski vodotoci malih primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krških polja	10-100	200-600	V	< 2
	27A	Nizinski vodotoci srednje velikih primorskih stalnih tekućica u vapnenačkoj podlozi krških polja	10-100	<200	V	2-20
	28A	Prigorski vodotoci srednje velikih primorskih tekućica u vapnenačko-flišnoj podlozi istarskog krša	10-100	200-600	V/S	2-20
	28B	Nizinske izvorišne male primorske tekućice u vapnenačko-flišnoj podlozi istarskog krša	10-100	<200	V/S	<2
	28C	Nizinski vodotoci srednje velikih primorskih tekućica u vapnenačko-flišnoj podlozi istarskog krša	100-1000	<200	V/S	2-20
*V – vapnenac, S – slilikati, O – organogeno						

Tablica 1. Ekološki tipovi tekućica

Ekološki tipovi stajaćica						
Ekoregija	**NACIONALNI KOD**	**NAZIV I OPIS TIPA**	**NADMORSKA VISINA (mnm)**	**DUBINA (m)**	**POVRŠINA (km2)**	**GEOLOŠKA PODLOGA***
PANONSKA	**SPMCNS**	Panonsko malo prigorsko srednje duboko jezero u vapnenačkoj podlozi	<200	3-15	0,5-1	V
	SPMSNN	Panonsko malo nizinsko jezero srednje dubine u silikatnoj podlozi	<200	3-15	0,5-1	S
	SPMSNP	Panonsko malo nizinsko plitko jezero u silikatnoj podlozi	<200	<3	0,5-1	S
	SPSCNP	Panonsko srednje veliko nizinsko plitko jezero u vapnenačkoj podlozi	<200	<3	1-10	V
	SPSONP	Panonsko srednje veliko nizinsko plitko jezero u organogenoj podlozi	<200	<3	1-10	O
	SPSSNP	Panonsko srednje veliko nizinsko plitko jezero u silikatnoj podlozi	<200	<3	1-10	S
	SPSSNS	Panonsko srednje veliko nizinsko jezero u silikatnoj podlozi, srednje dubine	<200	3-15	1-10	S
	SPVONP	Panonsko veliko nizinsko plitko jezero u organogenoj podlozi	<200	<3	>10	O
	SPVSNP	Panonsko veliko nizinsko plitko jezero u silikatnoj podlozi	<200	<3	>10	S
DINARSKA	**SDMCNN**	Dinarsko malo nizinsko jezero u vapnenačkoj podlozi	200-800	3-15	0,5-1	V
	SDMCSS	Dinarsko malo prigorsko srednje duboko jezero u vapnenačkoj podlozi	200-800	3-15	0,5-1	V
	SDSCNN	Dinarsko srednje veliko nizinsko jezero u vapnenačkoj podlozi	<200	>15	1-10	V
	SDSCSN	Dinarsko srednje veliko prigorsko jezero u vapnenačkoj podlozi	<200	3-15	1-10	V
	SDVCNN	Dinarsko veliko nizinsko jezero u vapnenačkoj podlozi	<200	3-15	10-100	V
*V – vapnenac, S – slilikati, O – organogeno						

Tablica 2. Ekološki tipovi stajaćica

Tipizacijom su, kako nalaže ODV, obuhvaćeni vodotoci sa slivnom površinom većom od 10 km^2 i stajaćice s površinom većom od 0,5 km^2. U tablicama 1. (Sveučilište u Zagrebu, 2008). i 2. (Hrvatske vode, 2010) izložen je pregled tipova površinskih voda tekućica i stajaćica na osnovu provedene i predhodno opisane tipizacije.

Razrada tipologije površinskih voda temelji se na projektima relevantnih institucija, a daljnje razgraničenje tipova provedeno je ekspertnom procjenom na osnovu podloga izrađenih pomoću GIS tehnologije u Hrvatskim vodama.

3. PRIJEDLOG NAJBOLJIH MJESTA

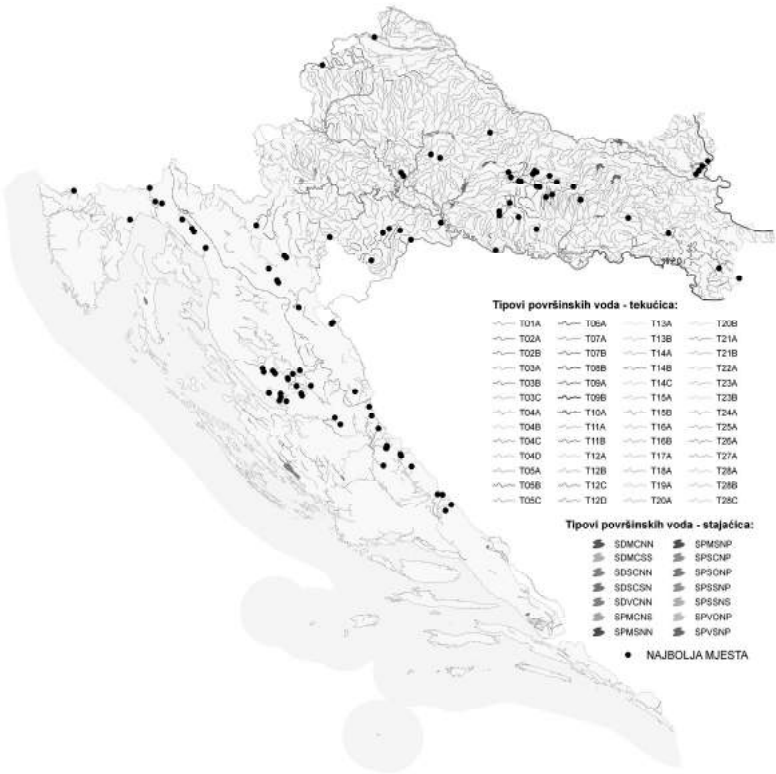
Stanje voda opisuje se na razini vodnih tijela, pri čemu ekološko i kemijsko stanje određuje, u ovisnosti od toga koje je lošije, ukupnu ocjenu stanja. Ekološko stanje vodnog tijela ocjenjuje se na osnovu relevantnih bioloških, fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće. Prema ukupnoj ocjeni elemenata kakvoće vodna tijela se klasificiraju u 5 klasa: vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše. U ovom radu procjena fizikalno-kemijskog stanja temelji se na pojedinačnim ocjenama za 4 osnovna kemijska elementa kakvoće: BPK_5, KPK-Mn, ukupni dušik i ukupni fosfor. Ocjena stanja temelji se na rezultatima nacionalnog monitoringa kakvoće voda za 2009. godinu kojim je obuhvaćeno 311 mjernih postaja na kopnenim površinskim vodama. Za vodna tijela na kojima nema mjernih postaja stanje je procijenjeno modeliranjem, na temelju izmjerenog stanja na najbližim mjernim postajama i prostorne distribucije točkastih i raspršenih izvora onečišćenja na međuslivu kojem pripada to vodno tijelo. Granične vrijednosti za pojedine klase su preuzete iz Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, 2010). Ova procjena stanja poslužila je za odabir najboljih mjesta, odnosno onih mjesta na kojima je utjecaj antropogenih promjena na vodotok minimalan pa time postoji i velika vjerojatnost da su biološke zajednice neizmijenjene. Obzirom da je za očekivati da je takvih mjesta vrlo malo, određena su i mjesta s antropogenim utjecajem koji je za 50% manji od onog koji bi uzrokovao prekoračenje granice vrlo dobrog stanja.

4. REZULTATI

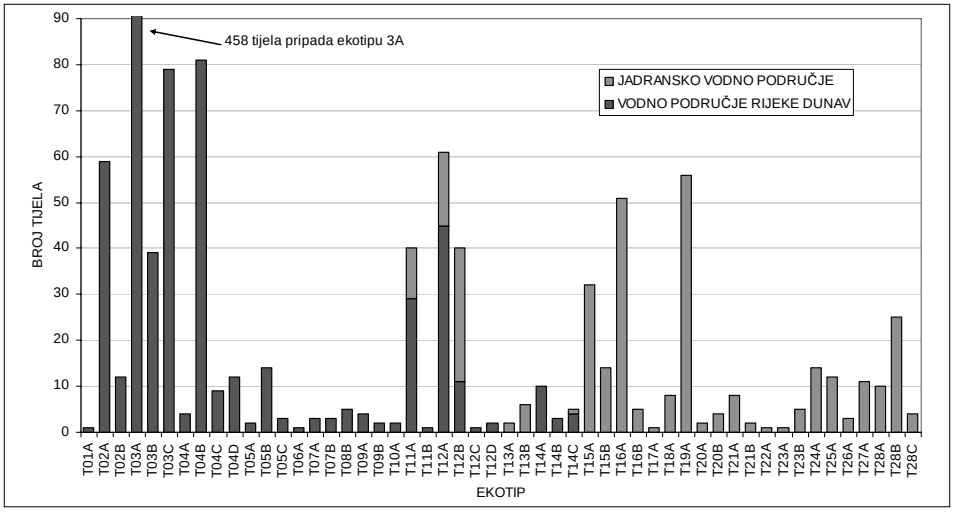
Na području Republike Hrvatske nalazi se ukupno 1267 vodna tijela, od kojih je 820 na području Panonske ekoregije, a 447 na području Dinarske ekoregije. Od ukupnog broja vodnih tijela većina su vodna tijela na tekućicama, dok je svega 34 vodna tijela na stajaćicama. Prostorni raspored tipova površinskih voda s najboljim mjestima prikazan je na slici 1.

Na području Panonske ekoregije najzastupljeniji su nizinski vodotoci malih tekućica u silikatnoj podlozi (tip 3A) i nizinski vodotoci srednje velikih tekućica u silikatnoj podlozi (tip 4B). Na području Dinarske ekoregije najzastupljeniji su prigorski vodotoci malih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša (tip 12A) i nizinski vodotoci srednje velikih primorskih povremenih tekućica u vapnenačkoj podlozi krša (tip 19A) (slika 2).

Od ukupno 52 tipa tekućica 32 tipa nalazi se u Dinarskoj ekoregiji, a 20 u Panonskoj što čini nešto manje od 40% ukupnog broja tipova. Stajaćice su tipizirane u manji broj tipova, a od ukupno 14 tipova, 9 tipova nalazi se u Panonskoj ekoregiji, čineći nešto više od 60% od ukupnog broja tipova. Ukupna dužina tekućica s površinom sliva većom od 10 km^2 i



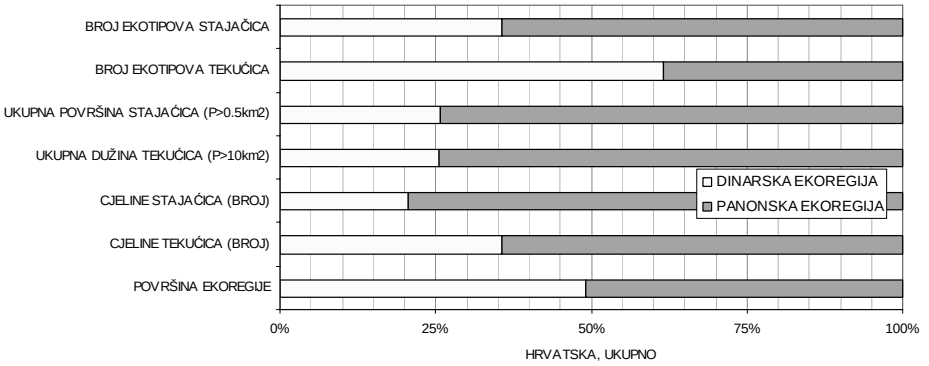
Slika 1 Karta tipova površinskih voda s najboljim mjestima



Slika 2. Broj tijela površinskih voda - tekućica

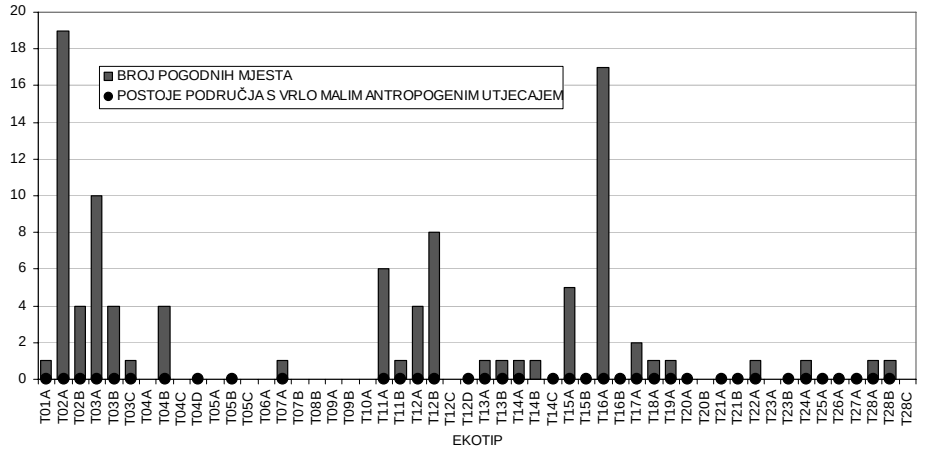
ukupna površina stajaćica s površinom sliva većom od 0,5 km^2 u Dinarskoj ekoregiji čini oko 25% od sveukupne dužine tekućica i sveukupne površine stajaćica.

U Panonskoj ekoregiji nalazi se preko 60% ukupnog broja vodnih tijela tekućica i preko 75% ukupnog broja vodnih tijela stajaćica. Obje ekoregije svojom su površinom podjednake. Navedene postotne vrijednosti nalaze se na slici 3.



Slika3. Usporedba površinskih voda u odnosu na ekoregije

Analizom najboljih mjesta tekućica utvrđeno je da se ona ne mogu odrediti za 27 tipova tekućica. Samo jedno takvo mjesto je određeno za 14 tipova, dok preostalih 11 tipova (21% od ukupnog broja tipova) ima 2, ili više najboljih mjesta. Najbolja je situacija s tipovima 2A i 16A za koje je identificirano preko 15 takvih mjesta. Za trinaest tipova za koje ne postoje najbolja mjesta, utvrđeno je da postoje područja s minimalnim antropogenim utjecajem, što donekle poboljšava ukupno stanje (slika 4).



Slika 4. Najbolja mjesta.

U 14 tipova stajaćica najbolja mjesta su identificirana za tri tipa i to SPMSNP, SDMCNN i SDMCSS. Područje s minimalnim antropogenim utjecajem je utvrđeno za tip SDSCNN. Za 11 tipova (71% ukupnog broja) ovakva područja ne postoje.

ZAKLJUČAK

Tipizacijom površinskih voda određena su 52 tipa ekološka tipa tekućica, te 14 ekoloških tipova stajaćica na teritoriju Republike Hrvatske. Njome su obuhvaćene tekućice sa slivnom površinom većom od 10 km^2 te stajaćice s površinom većom od 0,5 km^2.

Stanje voda te u skladu s time i najbolja mjesta ocijenjena su na osnovu procjene osnovnih kemijskih pokazatelja organskog opterećenja. Stoga i izabrana najbolja mjesta po ovim pokazateljima mogu ulaziti u izbor prilikom određivanja i odabira referentnih mjesta. Kao što je na žalost i bilo za očekivati, ovako identificiranih mjesta je vrlo malo i za većinu tipova ne postoje.

Svakako, do izrade slijedećeg plana trebalo bi uložiti dodatne napore na daljnjem unapređenju tipologije i to kako sa stanovišta pouzdanijeg i preciznijeg biološkog opisa tipova te odgovarajućih klasifikacija voda tako i sa stanovišta prikupljanja boljih podloga za razgraničenje tipova.

Također, stanje a time i najbolja mjesta su u okviru ovog Plana određeni na osnovu prelaznih odredbi Uredbe, a za pretpostaviti je da će se pri izradi slijedećeg plana moći koristiti odredbe koje nisu prelaznog karaktera. To će u mnogome poboljšati kvalitetu opisanih analiza, ali će neminovno otežati njihovo provođenje čemu se potrebno što prije stručno i organizacijski prilagoditi.

Očigledan je nažalost vrlo veliki antropogeni utjecaj na ekološko stanje voda pa će dugoročno jedna od najvećih zadaća vodnoga gospodarstva biti smanjenje ovog utjecaja na što manju razinu.

LITERATURA

[1] Barbalić, D. (2004): *Određivanje tipova vodotoka prema sustavu "A" Okvirne direktive o vodama,* Hrvatske vode (12/48).

[2] Barbalić, D.; Miholić, T.; Barbalić, M. (2007): *Tipizacija površinskih voda sliva rijeke Save,* Hrvatske vode i Europska unija - Izazovi i mogućnosti, Zbornik radova, str 831-838.

[3] Hrvatske vode (2010): *Plan upravljanja vodnim područjima - Nacrt,* Zagreb.

[4] Hrvatske vode (2002): *Okvirna Direktiva o vodama Europske unije, Vodnogospodarska osnova Hrvatske, izdanja II,* Zagreb.

[5] Narodne novine (2010): Uredba o standardu kakvoće voda, br. 89.

[6] Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek i Elektroprojekt d.d. (2008): *Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u hrvatskoj prema kriterijima Okvirne direktive o vodama - Studija,* Zagreb.

[7] Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek i Hrvatski prirodoslovni muzej Zagreb (2005): *Definiranje tipova površinskih voda*

Izrada nacrta tipologije površinskih kopnenih voda Hrvatske - Studija, Zagreb.

[8] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet (2004): *Definiranje tipova površinskih voda, geološko-litološke podloge - Tumač*, Zagreb.

AUTORI

Tina Miholić, dipl. ing. biol. [a]

Darko Barbalić, dipl. ing. građ. [b]

Đorđa Medić, dipl. inž. kem. [c]

[a] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, tmiholic@voda.hr

[b] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, darkob@voda.hr

[c] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, dmedic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.26.

HIDROMORFOLOŠKO STANJE RIJEKA I JEZERA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Mira Filipović, Darko Barbalić, Željka Kordej De Villa

SAŽETAK: Usklađivanje hrvatskog vodnog zakonodavstva s europskim standardima na području voda rezultiralo je novim sustavom ocjenjivanja stanja voda. Uvedeno je ekološko stanje, kao kompleksna ocjena stanja, utemeljena na odgovarajućim biološkim i pratećim fizikalno-kemijskim i hidromorfološkim elementima kakvoće. Raspoloživi podaci o hidromorfološkim značajkama hrvatskih rijeka i jezera upućuju na njihovo relativno dobro hidromorfološko stanje. Nezadovoljavajuće hidromorfološko stanje utvrđeno je na 2.681 km tipiziranih rijeka ili 20,5% njihove ukupne dužine. Udio hidromorfološki nezadovoljavajućih jezera je veći i obuhvaća gotovo 50% svih tipiziranih jezera. Većina hidromorfološki nezadovoljavajućih vodnih tijela predlaže se za kategoriju znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela, za koja vrijede blaža ekološka mjerila, što još treba opravdati odgovarajućim ekonomskim analizama. Radi se o 2.250 km rijeka i 15 jezera. Postupna renaturalizacija je predviđena za 431 km rijeka i jedno jezero. Relativni udio problematičnih vodnih tijela i vodnih tijela predloženih za renaturalizaciju nešto je veći na jadranskom vodnom području u odnosu na vodno područje rijeke Dunav.

KLJUČNE RIJEČI: hidromorfološko stanje, hidromorfološki element kakvoće, umjetna i znatno promijenjena vodna tijela, renaturalizacija, analiza troškova i koristi, nesrazmjernost troškova

HYDROMORPHOLOGYCAL STATUS OF RIVERS AND LAKES IN CROATIA

SUMMARY: Transposition of the European water quality standards into the Croatian water legislation asks for a new water status classification system to be established. An ecological status is introduced, as a comprehensive expression of the water quality based on a relevant set of type-specific biological and supporting hydromorphological and physicochemical quality elements. Actual data and knowledge on the hydromorphological characteristics of the Croatian rivers and lakes indicate their rather satisfying hydromorphological status. Hydromorphological deficits are estimated for 20% of the length of the analysed rivers, in total of 2681 km. The share of unsatisfying status of lakes is higher, amounting almost one half of the analysed lakes. A majority of the water bodies assessed at risk for the hidromorphological deficits are candidates for the heavily modified and

artificial category having less stringent ecological standards. This status has to be justified by appropriate economic analyses. There are 2250 km of rivers, and 15 lakes proposed for such exemptions. Gradual renaturalization is expected for 431 km of rivers and for one lake. The water bodies at risk, and the water bodies proposed for renaturalization are somewhat more frequent on the Adriatic River Basin than on the Danube River Basin.

KEY WORDS: hydromorphological status, hydromorphological quality elements, heavily modified and artificial water bodies, renaturalization, cost-benefit analysis, disproportioanal costs

1. UVOD

Usklađivanje hrvatskog vodnog zakonodavstva s europskim standardima na području voda, prvenstveno Okvirnom direktivom o vodama (Water Framework Directive EU, 2000), rezultiralo je novim sustavom ocjenjivanja stanja voda. Uvedeno je ekološko stanje, kao kompleksna ocjena stanja voda koja izražava kakvoću strukture i funkcioniranja vodnih ekosustava u vezi s površinskim vodama, a utemeljena je na odgovarajućim biološkim i podržavajućim fizikalno-kemijskim i hidromorfološkim pokazateljima. Zbog nedostatnog biološkog monitoringa zasad nije moguće dosljedno ocjenjivanje ekološkog stanja hrvatskih rijeka i jezera prema važećim normativnim definicijama. U pripremi prvoga plana upravljanja vodnim područjima su podržavajući elementi kakvoće, koji reprezentiraju stanje određenoga vodenoga staništa, imali odlučujuću ulogu u postupku klasifikacije stanja vodnih tijela rijeka i jezera. Opća ocjena stanja vodnih tijela rijeka i jezera predstavljena je najnižom od vrijednosti rezultata fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće (Hrvatske vode, 2010). Pretpostavka je da postoji čvrsta korelacija između općeg hidromorfološkog i fizikalno-kemijskog stanja vodenoga staništa i stanja biološkiх zajednica referentnih za to stanište.

Jedan od načelnih ciljeva zaštite vodnoga okoliša je postizanje najmanje dobrog ekološkog stanja površinskih voda, što podrazumijeva i njihovo najmanje dobro hidromorfološko stanje. To pretpostavlja otklanjanje svih hidromorfoloških promjena na vodama uzrokovanih ljudskom djelatnošću koje utječu na ekološku funkciju voda.

Osim svoje ekološke funkcije, voda ima i važnu ekonomsku ulogu. Uvjeti života i proizvodni potencijal nekog područja veoma ovise o razvijenosti vodnih usluga i drugih vidova korištenja i uređenja voda koja pridonose ukupnom društvenom proizvodu i blagostanju, ali i generiraju opterećenja i moguće negativne utjecaje na stanje voda. Mada je prvenstveno usmjerena na zaštitu vodnoga okoliša, Okvirna direktiva o vodama podržava usklađivanje ciljeva okoliša s razvojnim potrebama i mogućnostima korisnika voda na vodnom području i dopušta ublažavanje ciljeva okoliša tamo gdje za to postoje opravdani razlozi (European Commision, 2009). U dopuštena izuzeća spadaju i tzv. „znatno promijenjena“ i „umjetna“ vodna tijela, putem kojih se mogu opravdati trajne promjene hidromorfoloških značajki voda uzrokovane ljudskim djelatnostima za koje ne postoji okolišno povoljnija i troškovno prihvatljiva alternativa (European Commision , 2002).

U ovom radu su sažeti rezultati klasifikacije općeg hidromorfološkog stanja vodnih tijela rijeka i jezera na vodnom području rijeke Dunav i jadranskom vodnom području i dat je pregled vodnih tijela koja su izdvojena kao kandidati za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela. Također, izloženi su elementi nužni za potvrđivanje statusa znatno promije-

njenjenog i umjetnog vodnog tijela, odnosno za opravdanje blažih ciljeva zaštite vodnoga okoliša koji iz toga proizlaze.

2. PODACI I METODOLOGIJA

U pripremi prvog plana upravljanja vodnim područjima korištena je metodologija za klasifikaciju općeg hidromorfološkog stanja vodnih tijela rijeka i jezera predložena i testirana u Hrvatskim vodama (Kadić i drugi, 2007) i potvrđena Uredbom o standardu kakvoće voda (Narodne novine, 2010). Opće hidromorfološko stanje ocjenjuje se temeljem niza hidromorfoloških elemenata kakvoće, za rijeke: količine i dinamike vodenog toka, veze s podzemnim vodama, longitudinalnog i lateralnog kontinuiteta rijeke, kanaliziranosti, varijacije širine i dubine rijeke, strukture i sedimena dna rijeke i strukture obalnoga pojasa, a za jezera: količine i dinamike vodenog toka, vremena zadržavanja, veze s podzemnim vodama, promjene dubine jezera, količine, strukture i sedimenta dna jezera i strukture obale jezera. Opće hidromorfološko stanje određeno je najnižom od ocjena svih obuhvaćenih hidromorfoloških elemenata kakvoće.

Za svako vodno tijelo najprije se procjenjuje odstupanje hidromorfoloških elemenata kakvoće od referentnih uvjeta, nastalo uslijed postojećih hidromorfoloških opterećenja. Ocjena stanja vodnog tijela prema određenom hidromorfološkom elementu temelji se na jačini promjene tog elementa i tip-specifičnoj osjetljivosti na tu vrstu promjene, sukladno prijelaznim mjerilima za ocjenu hidromorfoloških elemenata kakvoće. Prijelazni karakter propisanih mjerila uvjetovan je složenošću koncepta hidromorfološkog stanja, koje dosad nije bilo praćeno i ocjenjivano i za koje još uvijek nema ni pouzdane podatkovne osnove niti pouzdanog klasifikacijskog sustava, već se on temelji na stručnim procjenama. Stoga predstoje dodatna terenska istraživanja i sistematizacija bio-hidromorfoloških međuovisnosti, koja će rezultirati doradom prijelaznih mjerila i pouzdanijom hidromofološkom klasifikacijom u sljedećem planu upravljanja vodnim područjima.

Zasad se raspolaže ograničenim fondom podataka o hidromorfološkim opterećenjima voda koji su ciljano prikupljeni i obrađeni u Hrvatskim vodama, prvenstveno podacima o vodnim građevinama: regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama, komunalnim vodnim građevinama, melioracijskim vodnim građevinama, vodnim građevinama za proizvodnju električne energije i građevinama za unutarnju plovidbu. Potpunost i pouzdanost prikupljenih podataka razlikuje se po dijelovima vodnih područja, što uvjetuje različitu pouzdanost rezultata hidromorfološke klasifikacije vodnih tijela rijeka i jezera i izdvajanja kandidata za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela.

3. OPĆE HIDROMORFOLOŠKO STANJE RIJEKA I JEZERA

Analizom značajki kopnenih površinskih voda prema kriterijima Okvirne direktive o vodama izdvojena su 1.234 vodna tijela rijeka (900 na vodnom području rijeke Dunav, 334 na jadranskom vodnom području) i 33 vodna tijela jezera (28 na vodnom području rijeke Dunav, 5 na jadranskom vodnom području). Obuhvaćene su rijeke sa slivnom površinom iznad 10 km^2 i jezera s površinom vodnog lica iznad 0,5 km^2. Osim prirodnih značajki voda (tipologije), kao primarnog kriterija za izdvajanje vodnih tijela, u nekoliko slučajeva su korišteni i sekundarni kriteriji, uključujući izloženost hidromorfološkom opterećenju.

Na temelju ocijenjenih hidromorfoloških elemenata kakvoće, vodna tijela su razvrstana

u pet klasa općeg hidromorfološkog stanja: vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše. Rezultati klasifikacije prikazani su u *Tablici 1* i upućuju na relativno dobro hidromorfološko stanje hrvatskih rijeka. Hidromorfološko stanje jezera je nešto lošije, zbog činjenice da u Hrvatskoj ima malo prirodnih jezera, a većim dijelom se radi o stajaćim vodama nastalim djelovanjem čovjeka.

	Rijeke				Jezera			
	Broj vodnih tijela		Ukupna dužina vodnih tijela		Broj vodnih tijela		Ukupna površina vodnih tijela	
	broj	%	km	%	broj	%	km^2	%
Vodno područje rijeke Dunav	**900**	**100,0**	**10.780**	**100,0**	**28**	**100,0**	**124,8**	**100,0**
Vrlo dobro	525	58,3	4.696	43,5	11	39,3	8,5	6,8
Dobro	268	29,8	3.977	36,9	2	7,1	17,1	13,7
Umjereno	77	8,6	1.496	13,9	1	3,6	5,7	4,6
Loše	19	2,1	561	5,2	13	46,4	89,4	71,7
Vrlo loše	11	1,2	51	0,5	1	3,6	4,0	3,2
Jadransko vodno područje	**334**	**100,0**	**2.273**	**100,0**	**5**	**100,0**	**42,2**	**100,0**
Vrlo dobro	150	44,9	765	33,7	2	40,0	36,5	86,5
Dobro	130	38,9	934	41,1	2	40,0	3,6	8,5
Umjereno	29	8,7	340	14,9	0	0,0	0,0	0,0
Loše	18	5,4	204	9,0	0	0,0	0,0	0,0
Vrlo loše	7	2,1	30	1,3	1	20,0	2,1	5,0
Republika Hrvatska	**1.234**	**100,0**	**13.053**	**100,0**	**33**	**100,0**	**167,0**	**100,0**
Vrlo dobro	675	54,7	5.461	41,8	13	39,4	45,0	30,0
Dobro	398	32,2	4.911	37,6	4	12,1	20,7	12,4
Umjereno	106	8,6	1.836	14,1	1	3,0	5,7	3,4
Loše	37	3,0	764	5,9	13	39,4	89,4	53,6
Vrlo loše	18	1,5	81	0,6	2	6,1	6,1	3,6

Tablica 1. Raspodjela vodnih tijela rijeka i jezera po klasama općeg hidromorfološkog stanja

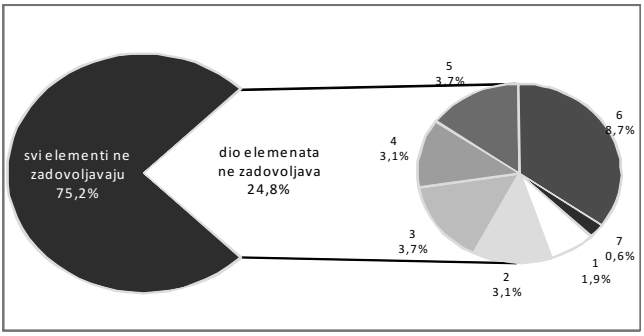
Na rijekama je utvrđeno 161 vodno tijelo (13% ukupnoga broja vodnih tijela, 20,5% ukupne dužine tipiziranih rijeka) koje ne zadovoljava po najmanje jednom hidromorfološkom elementu kakvoće. U pravilu, radi se o umjerenom odstupanju od referentnih, približno prirodnih hidromorfoloških uvjeta. Relativno mali broj vodnih tijela rijeka je svrstan u loše (37 vodnih tijela dužine 764 km) i vrlo loše (18 vodnih tijela dužine 81 km) hidromorfološko stanje. Hidromorfološke promjene su nešto prisutnije na rijekama jadranskog vodnog područja, gdje je odstupanje utvrđeno na 25% duljine svih tipiziranih rijeka, prema približno 20% hidromorfološki promijenjenih riječnih dionica na vodnom području rijeke Dunav.

Od 33 tipizirana jezera, hidromorfološki problemi su utvrđeni na njih 16, odnosno na polovici ukupnoga broja i 60% ukupne površine. Jedno vodno tijelo je ocijenjeno kao umjereno, 13 vodnih tijela su loša, a preostala dva su vrlo loša prema hidromorfološkim elementima kakvoće. Većina vodnih tijela jezera, pa tako i onih koja hidromorfološki ne zadovoljavaju, nalazi se na vodnom području rijeke Dunav. Uglavnom se radi o umjetnim vodnim tijelima. Najveći dio hidromorfološki deficitarnih jezera čine toplovodni (šaranski) ribnjaci, nastali djelovanjem čovjeka. Za jedan dio umjetnih vodnih tijela (bivše šljunčare, neki ekstenzivni ribnjaci) utvrđeno je zadovoljavajuće hidromorfološko stanje i bez obzira na njihovo porijeklo, na njih će se primjenjivati standardi koji vrijede za prirodna jezera. Malobrojna prirodna jezera na vodnom području rijeke Dunav (Plitvička jezera, jezera u Baranji) su u vrlo dobrom hidromorfološkom stanju. Na jadranskom

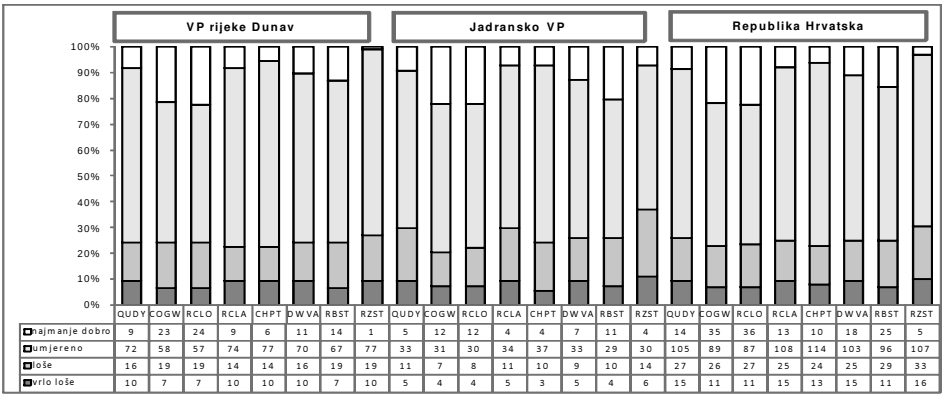
vodnom području je pet prirodnih jezera, od kojih 4 zadovoljavaju po hidromorfološkim elementima, a jedno, Prološko blato, je u vrlo lošem hidromorfološkom stanju.

Hidromorfološki problemi na rijekama sistematizirani su na *Slici 1 i 2*. U pravilu se radi o višestrukim problemima, najčešće o nekom stupnju degradacije gotovo svih hidromorfoloških elemenata kakvoće. Povoljna je okolnost da prevladavaju slučajevi umjerene degradacije. Loša i vrlo loša kakvoća pojedinih hidromorfoloških elemenata javlja se kod 20-30% promijenjenih vodnih tijela, nešto češće na jadranskom vodnom području. Najučestaliji hidromorfološki problem, utvrđen kod 97% hidromorfološki promijenjenih vodnih tijela je struktura obalnoga pojasa rijeke (RZST). Problemi kanaliziranosti (CHPT), lateralnoga kontinuiteta (RCLA) i količine i dinamike vodenoga toka (QUDY) prisutni su u više od 90% slučajeva, a i ostali elementi kakvoće ne zadovoljavaju kod više od tri četvrtine problematičnih vodnih tijela rijeka.

Najčešći uzroci hidromorfoloških problema su mjere uređenja vodotoka, zaštite od poplava i odvodnje oborinskih voda. Brojne i vrlo izrazite hidromorfološke promjene na rijekama vezane su i uz hidroenergetsko korištenje voda, osobito izgradnju akumulacija, a na plovnim rijekama dunavskoga sliva i uz izgradnju i održavanje plovnih puteva.



Slika 1. Raspodjela problematičnih vodnih tijela rijeka prema broju nezadovoljavajućih hidromorfoloških elemenata



	QUDY	COGW	RCLO	RCLA	CHPT	DWVA	RBST	RZST	QUDY	COGW	RCLO	RCLA	CHPT	DWVA	RBST	RZST	QUDY	COGW	RCLO	RCLA	CHPT	DWVA	RBST	RZST
najmanje dobro	9	23	24	9	6	11	14	1	5	12	12	4	4	7	11	4	14	35	36	13	10	18	25	5
umjereno	72	58	57	74	77	70	67	77	33	31	30	34	37	33	29	30	105	89	87	108	114	103	96	107
loše	16	19	19	14	14	16	19	19	11	7	8	11	10	9	10	14	27	26	27	25	24	25	29	33
vrlo loše	10	7	7	10	10	10	7	10	5	4	4	5	3	5	4	6	15	11	11	15	13	15	11	16

Slika 2. Raspodjela problematičnih vodnih tijela rijeka prema stanju hidromorfoloških elemenata

4. KANDIDATI ZA ZNATNO PROMIJENJENA I UMJETNA VODNA TIJELA

„Znatno promijenjena“ i „umjetna“ vodna tijela čine posebnu kategoriju površinskih vodnih tijela za koju su dopušteni niži ekološki ciljevi u zaštiti voda. Umjesto najmanje dobrog ekološkog stanja, što je opći zahtjev za ostala vodna tijela, za njih se traži postizanje najmanje dobrog ekološkog potencijala. Kod definiranja klasifikacijskog sustava za ocjenjivanje ekološkog potencijala znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela uvažavaju se ograničenja proizašla iz nužnih fizičkih zahvata vezanih za određenu djelatnost i namjenu vodnoga tijela, uz uvjet da su poduzete sve razumne mjere za ublažavanje negativnih učinaka tih zahvata.

Uvjeti pod kojima se neko vodno tijelo može odrediti kao znatno promijenjeno ili umjetno su strogi i ograničeni na važne djelatnosti u funkciji održivoga razvoja koje iziskuju velike fizičke zahvate na vodama, kao što su akumuliranje vode za potrebe vodoopskrbe, navodnjavanja ili energetskog korištenja, obrana od poplava, urbanizacija, plovidba i druge održive djelatnosti. Takvi zahvati mogu rezultirati izrazitim, opsežnim, često ireverzibilnim morfološkim i hidrološkim promjenama koje bitno utječu na ekološku funkciju voda i nespojive su s dobrim ekološkim stanjem voda. Vodna tijela kod kojih je odstupanje od dobrog ekološkog stanja procijenjeno temeljem bitno narušenih hidroloških i morfoloških značajki mogu se odrediti kao kandidati za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela. Ako se takva procjena odnosi na tijelo prirodne površinske vode koje je, zbog fizičkih zahvata vezanih za ostvarivanje razvojnih ciljeva na nekom području, bitno promijenilo svoj karakter, što podrazumijeva izrazite, opsežne i očigledne morfološke i hidrološke promjene u odnosu na stanje prije zahvata, ono je kandidat za znatno promijenjeno vodno tijelo. Ako se radi o hidromorfološki nezadovoljavajućem tijelu površinske vode nastalom ljudskom djelatnošću, ono je kandidat za umjetno vodno tijelo.

Najveći broj vodnih tijela rijeka i jezera na kojima su utvrđeni hidromorfološki problemi kandidiran je za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela (*Tablica 2*).

	Rijeke				Jezera			
	Broj vodnih tijela		Dužina vodnih tijela		Broj vodnih tijela		Površina vodnih tijela	
	broj	%	km	%	broj	%	km^2	%
Vodno područje rijeke Dunav	**107**		**2.108**		**15**		**99,1**	
Renaturalizacija	20	18,7	200	9,5	0	0,0	0	0,0
Kandidati za znatno promijenjena vodna tijela	74	69,2	1.765	83,7	1	6,7	6	6,1
Kandidati za umjetna vodna tijela	13	12,1	143	6,8	14	93,3	93	93,9
Jadransko vodno područje	**54**		**574**		**1**		**2,1**	
Renaturalizacija	21	38,9	232	40,4	1	100,0	2,1	100,0
Kandidati za znatno promijenjena vodna tijela	32	53,3	341	59,4	0	0,0	0	0,0
Kandidati za umjetna vodna tijela	1	1,8	1	0,2	0	0,0	0	0,0
Republika Hrvatska	**161**		**2.681**		**16**		**101,2**	
Renaturalizacija	41	25,5	431	16,1	1	6,25	2,1	2,1
Kandidati za znatno promijenjena vodna tijela	106	65,8	2.106	78,5	1	6,25	6	5,9
Kandidati za umjetna vodna tijela	14	8,7	144	5,4	14	87,5	93	92,0

Tablica 2. Pregled hidromorfološki problematičnih vodnih tijela s prijedlogom rješenja

Radi se o 120 vodnih tijela rijeka (75% problematičnih, odnosno 10% svih vodnih tijela rijeka) i 15 vodnih tijela jezera (94% problematičnih, odnosno 45% svih vodnih tijela jezera) predloženih za izuzeće. U fizičkom smislu je udio kandidata za izuzeće još veći i

iznosi 84% ukupne dužine svih hidromorfološki promijenjenih rijeka i čak 98% ukupne površine svih hidromorfološki problematičnih jezera. Mogućnost postupnog obnavljanja približno prirodnih hidromorfoloških uvjeta predviđena je za 41 vodno tijelo rijeka, ukupne dužine 431 km, i jednog hidromorfološki promijenjenog jezera. Prijedlogom za renaturalizaciju obuhvaćena su prirodna vodna tijela kod kojih, prema ekspertnoj procjeni, nije došlo do bitne promjene u karakteru u odnosu na prirodno stanje.

5. EKONOMSKE ANALIZE ZA OPRAVDANJE ZNATNO PROMIJENJENIH I UMJETNIH VODNIH TIJELA

Svi preliminarno izdvojeni kandidati za znatno promijenjenjena i umjetna vodna tijela ne moraju na kraju planskoga procesa dobiti potvrdu predloženoga statusa. Konačnom proglašenju prethodi temeljito preispitivanje razloga za svako takvo izuzeće, u skladu s načelnim opredjeljenjem vodne politike, kao sastavnice politike okoliša, da se izuzeća od općega cilja, a to je postizanje dobrog ekološkog stanja svih površinskih voda, moraju svesti na najmanju moguću mjeru. Izuzeća su dopuštena u opravdanim okolnostima, ovisnim o konkretnim vodnim i društveno-ekonomskim prilikama i potrebama određenoga područja.

Da bi se potvrdio status znatno promijenjenog ili umjetnog vodnog tijela potrebno je dokazati da bi ostvarivanje približno prirodnih hidromorfoloških značajki vodnoga tijela, nužno za postizanje dobrog ekološkog stanja, imalo značajne negativne posljedice na važne ekonomske aktivnosti ili na šire okruženje. Pored toga treba potvrditi da se korisni ciljevi kojima služi znatno promijenjeno ili umjetno vodno tijelo iz tehničkih razloga ili zbog visokih troškova ne mogu postići drugim sredstvima koja bi bila bolji i prihvatljiviji izbor za okoliš. Pritom se mora raditi o znatno boljoj opciji za okoliš u cjelini, a ne ograničenoj isključivo na kakvoću vodnoga okoliša.

Analizu troškova renaturalizacijskih mjera, kako bi se utvrdilo jesu li oni nesrazmjerni ili ne, trebalo bi provesti što ranije tijekom planskoga procesa, kako bi se osiguralo pravovremeno konzultiranje javnosti i svih zainteresiranih strana, te omogućila koordinacija s drugim strukama. Jer za odlučivanje je potrebna kombinacija tehničkih i ekonomskih znanja. O pitanju nesrazmjernosti troškova određenih mjera odlučuje se od slučaja do slučaja. Odluka o tome može se opisati i kao „politička“ odluka bazirana na ekonomskim uvidima. S obzirom na postojanje neizvjesnosti nužno je naglasiti i sljedeće:

- nesrazmjernost ne počinje u trenutku kad troškovi jednostavno premaše mjerljive koristi;
- procjena koristi i troškova treba uključiti i kvalitativne i kvantitativne troškove i koristi;
- razlika između ukupnih troškova i koristi mora biti znatna i pouzdano dokazana;
- u slučaju pojave nesrazmjernosti, valja uzeti u obzir sposobnost plaćanja onih koji su pogođeni određenim mjerama. Takva analiza treba biti dezagregirana na razinu odvojenih društveno-ekonomskih grupa i sektora.

Za potvrđivanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela preporuča se kvantitativno vrednovanje za tržišne troškove i koristi i deskriptivno vrednovanje za netržišne troškove i koristi. U početnim fazama se analiza nesrazmjernosti većinom svodi na kvalitativne ocjene. Ipak, nužno je da svi i tržišni i netržišni učinci budu identificirani i navedeni iako

ih je nemoguće u potpunosti monetarno vrednovati. Vremenom, prikupljanjem većeg broja pokazatelja, i analiza će postati sofisticiranija.

ZAKLJUČAK

Provedena analiza značajki vodnih područja ukazuje na relativno povoljno hidromorfološko stanje hrvatskih rijeka i jezera. Taj zaključak se temelji na djelomičnom poznavanju hidromorfoloških značajki i pojednostavljenom pristupu ocjenjivanju stanja, što u budućnosti treba ispraviti intenziviranjem hidromorfološkog monitoringa i doradom klasifikacijskog sustava.

Sadašnje poznavanja hidromorfoloških značajki upućuje na oko 20% hidromorfološki nezadovoljavajućih rijeka i 50% hidromorfološki nezadovoljavajućih jezera, koja su većim dijelom kandidati za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela. Renaturalizacija je predviđena za manji broj hidromorfološki rizičnih vodnih tijela. Kroz javnu raspravu o nacrtu plana upravljanja vodnim područjima otvara se mogućnost uključivanja javnosti i, osobito, zainteresiranih dionika, u preispitivanje i potvrđivanje predloženih rješenja, što nije bilo moguće ostvariti u pripremi nacrta plana, zbog vrlo skraćenih rokova izrade. To uključuje i potvrđivanje statusa znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela, za što su nužni rezultati analize nesrazmjernosti troškova za njihovu renaturalizaciju. Sigurno je da raspoloživi podaci i alati zasad ne omogućuju odgovore na sva otvorena pitanja, već će se dio njih rješavati u narednom planskom ciklusu.

LITERATURA

[1] Ekonomski institut, Zagreb (u izradi): Istraživanje ekonomskih aspekata plana upravljanja vodnim područjima. Ekonomski institut, Zagreb

[2] European Commision (2003): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guidance Document No. 1 on Economics and the Environment - the Implementation Challenge of the Water Framework Directive

[3] European Commision (2002): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guidance Document No. 4 on Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies

[4] European Commision (2009): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guidance Document No. 20 on Exemptions to the Environmental Objectives

[5] Hrvatske vode (2010): Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima, Hrvatske vode, Zagreb

[6] Kadić, V., Barbalić, D., Miholić, T. (2007): Hidromorfološki utjecaji na stanje vodotoka – sliv Kupe, Hrvatske vode i Europska unija – izazovi i mogućnosti (Urednik – Gereš, D.), Hrvatske vode, Zagreb, str. 145.–152.

[7] Narodne novine (2010): Uredba o standardu kakvoće voda. Br. 89

[8] Water Framework Directive EU (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for

Community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities, L. 327, Luxembourg.

AUTORI

Mira Filipović, dipl. ing. fizike [a]
Darko Barbalić, dipl. ing. građ. [a]
dr.sc. Željka Kordej De Villa, dipl. oec. [b]

[a] Hrvatske vode, Ul. grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000, Hrvatska, *fmira@voda.hr, darkob@voda.hr*

[b] Ekonomski institut, Zagreb, Trg J. F. Kennedyja 7, Zagreb, 10 000, Hrvatska, *kordej@eizg.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.27.

PREGLED STANJA VODA U ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA PO ZAKONU O ZAŠTITI PRIRODE

Tina Miholić, Darko Barbalić, Sandra Šturlan Popović

SAŽETAK: Zakon o zaštiti prirode određuje pojedine kategorije prirodnih vrijednosti te propisuje njihovu zaštitu, a većim dijelom ova područja su zaštićena i prema Zakonu o vodama. Osnovni cilj zaštite prema Zakonu o vodama je postizanje dobrog stanja voda. Stanje površinskih voda utvrđuje se ocjenom ekološkog stanja i kemijskog stanja vodnih tijela. Ekološko stanje površinskih voda utvrđuje se biološkim, hidromorfološkim, te kemijskim i fizikalno-kemijskim elementima koji prate biološke elemente. Kemijsko stanje površinskih voda utvrđuje se u odnosu na prioritetne i druge onečišćujuće tvari. Ekološko stanje voda odgovara najlošijem od tri pojedinačno razmatrana stanja. U radu je određeno stanje voda zaštićenih područja prema Zakonu o zaštiti prirode, te sistematizirano po vodnim područjima, prema hidromorfološkim elementima, fizikalno-kemijskim elementima koji prate biološke elemente i prioritetnim i drugim onečišćujućim tvarima. Ukupan broj promatranih zaštićenih područja iznosi 75, na ukupno 391 vodnih tijela. Utvrđeno je da je stanje promatranih vodnih tijela znatno bolje na Jadranskom vodnom području.

KLJUČNE RIJEČI: Stanje voda, Zaštićena područja, Zaštita voda, Plan upravljanja vodnim područjima, Okvirna direktiva o vodama

OVERVIEW OF WATER STATUS IN PROTECTED AREAS PURSUANT TO NATURE PROTECTION ACT

SUMMARY: The Nature Protection Act defines particular categories of natural values and prescribes their protection; the majority of these areas are also protected under the Water Act. The basic objective of protection according to the Water Act is to achieve the good water status. The status of surface waters is established by assessing the ecological and chemical status of water bodies. The ecological status of surface waters is assessed on the basis of biological, hydromorphological and chemical elements and physico-chemical that are indicative of biological elements. The ecological status of waters corresponds to the lowest of the three individually analysed statuses. The paper defines the status of waters in protected areas under the Nature Protection Act and systematized by river basin districts according to hydromorphological elements, physico-chemical that are indicative of biological elements, and priority and other polluting substances. The total number of analysed protected areas is 75 in relation to a total of 391 water bodies. It has been

established that the status of analysed water bodies is significantly better in the Adriatic river basin district.

KEYWORDS: Water status, Protected areas, Water protection, River Basin Management Plan, Water Framework Directive

1. UVOD

U okviru implementacije Okvirne direktive o vodama (Hrvatske vode, 2002) uspostavljen je Registar zaštićenih područja - područja posebne zaštite voda i izrađen nacrt prvog Plana upravljanja vodnim područjima (Hrvatske vode, 2010).

Zaštićena područja (područja posebne zaštite voda) prema Registru su sva ona područja uspostavljena po određenim propisima koja zahtjevaju posebnu zaštitu površinskih voda, podzemnih voda i jedinstvenih i vrijednih ekosustava koji ovise o vodama. Ova područja osobito se odnose na:

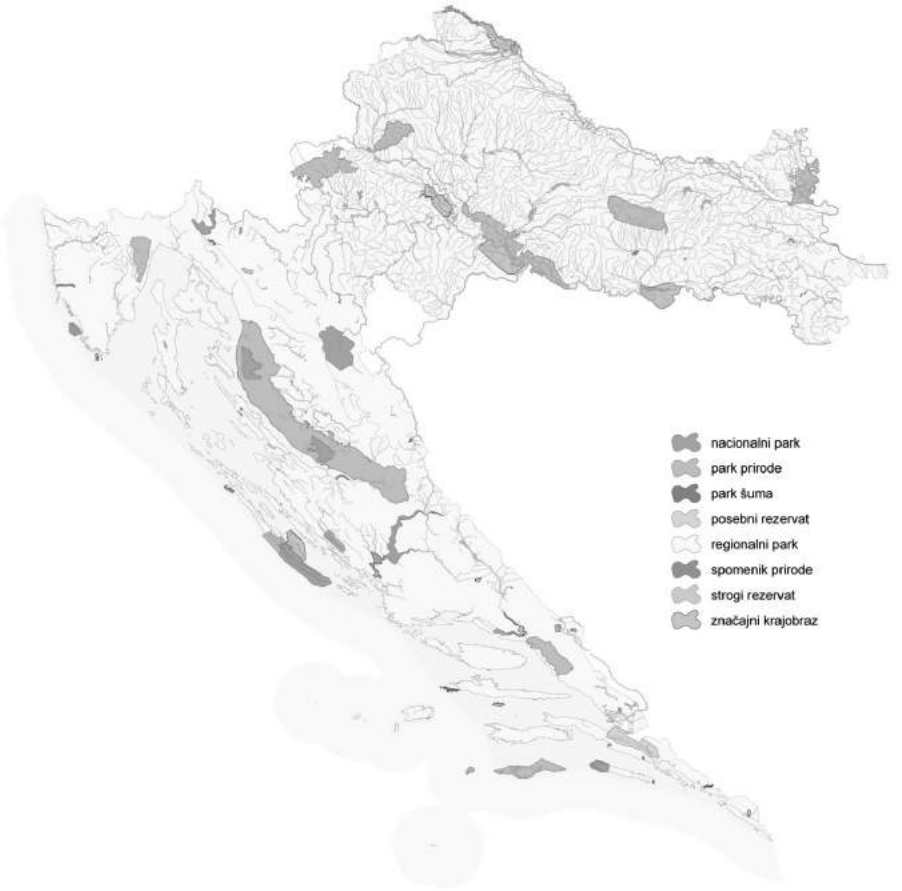
- područja namijenjena zahvaćanju vode za ljudsku potrošnju za koja se propisuje proglašenje zona sanitarne zaštite,
- područja pogodna za zaštitu gospodarski značajnih vodenih organizama,
- područja za kupanje i rekreaciju,
- područja podložna eutrofikaciji i područja ranjiva na nitrate iz poljoprivrednih izvora,
- područja namijenjena zaštiti staništa, ili vrsta gdje je održavanje, ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite i
- područja loše izmjene priobalnih voda.

U ovom radu dan je pregled stanja voda na Zaštićenim područjima koja su namijenjena zaštiti staništa, ili vrsta gdje je održavanje, ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite, a proglašena su Zaštićenim prirodnim vrijednostima prema Zakonu o zaštiti prirode i sastavni su dio Registra zaštićenih područja - područja posebne zaštite voda uspostavljenog u Hrvatskim vodama.

2. KORIŠTENI PODACI I METODOLOGIJA

Iz Registra je preuzeto 147 zaštićenih područja koja zauzimaju 7593 km^2 odnosno oko 10 % ukupne površine vodnih područja Republike Hrvatske (Slika 1). Od toga 69 područja se nalazi na vodnom području rijeke Dunav, a 78 na Jadranskom vodnom području. Odabrana zaštićena područja sistematizirana su u osam kategorija zaštite, a Spomenici parkovne arhitekture nisu razmatrani, budući da se definiraju kao umjetno oblikovani prostor.

Prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 89/2010) stanje voda opisuje se na razini vodnih tijela, a ukupna ocjena stanja pojedinog vodnog tijela sastoji se od njegove ocjene prema ekološkom stanju i ocjene prema kemijskom stanju, ovisno o tome koja je ocjena lošija. Ekološko stanje vodnih tijela površinske vode sastoji se od ocjene na osnovu relevantnih bioloških elemenata, zatim ocjene na osnovu kemijskih i fizikalno-kemijskih elemenata koji prate biološke elemente te ocjene na osnovu hidromorfoloških elemenata, koji omogućuju njihovu klasifikaciju u pet klasa: vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše.



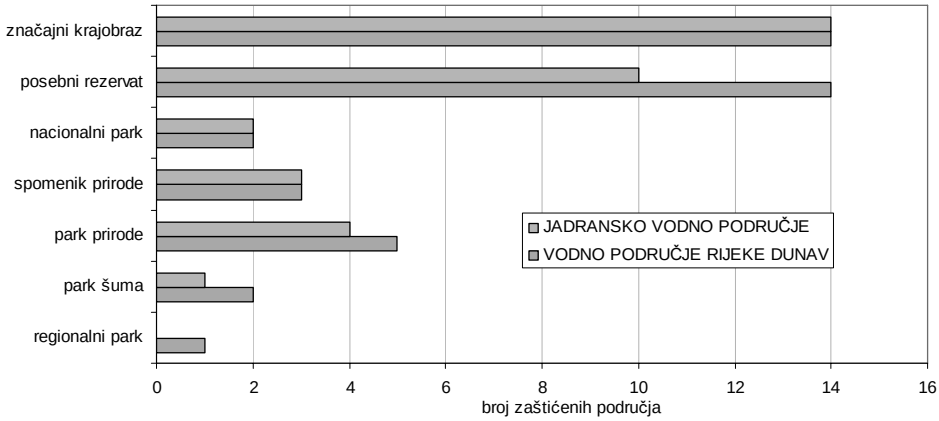
Slika 1. Zaštićena područja po Zakonu o zaštiti prirode

Sustavan monitoring kakvoće voda je uvjet za pouzdanu ocjenu i klasifikaciju stanja vodnih tijela. Pri procjeni stanja programom monitoringa je u 2009. godini obuhvaćeno 311 mjernih postaja na kopnenim površinskim vodama. Na osnovu raspoloživih podataka nije bilo moguće dati ocjenu ekološkog stanja tijela površinske vode, zbog nedostatka potrebnih podataka o biološkim elementima kakvoće, koji imaju glavnu ulogu u klasifikaciji ekološkog stanja. Stoga je, prema prijelaznim odredbama Uredbe, izvršena procjena općeg fizikalno-kemijskog i hidromorfološkog stanja, na temelju osnovnih fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških pokazatelja kakvoće koji prate biološke elemente. Također izvršena je i procjena stanja prema prioritetnim i drugim onečišćujućim tvarima, koja zajedno s općom daje ukupnu procjenu stanja prema navedenim pokazateljima.

U okviru ovog rada obuhvaćena su površinska vodna tijela tekućica sliva >10 km^2 i stajaćica površine >0,5 km^2 koja zadovoljavaju pragove postavljene Okvirnom Direktivom o vodama.

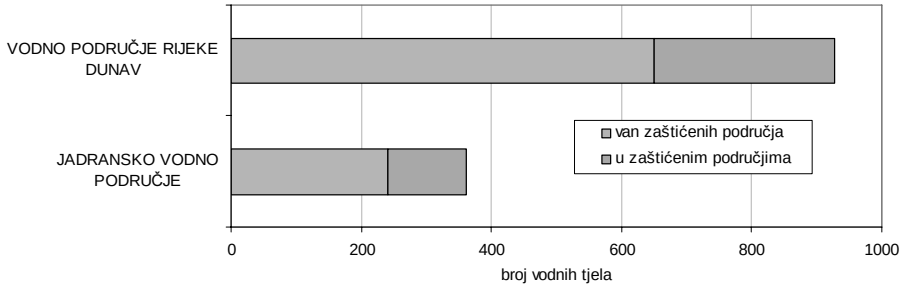
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Ukupan broj promatranih zaštićenih područja na kojima se nalaze vodna tijela je 75. Od toga se na vodnom području rijeke Dunav nalazi 41 zaštićeno područje, a na Jadranskom vodnom području 34 zaštićena područja. Nacionalni parkovi Risnjak i Plitvice nalaze se u oba vodna područja, ali su za potrebe ove analize pridružena vodnom području rijeke Dunav, jer se tamo prostiru većom površinom. Od ukupno 75 zaštićenih područja njih 52, odnosno oko 70% nalazi se u kategoriji Posebni rezervat ili Zaštićeni krajolik. Samo je jedan Regionalni park - Mura-Drava (Slika 2.).

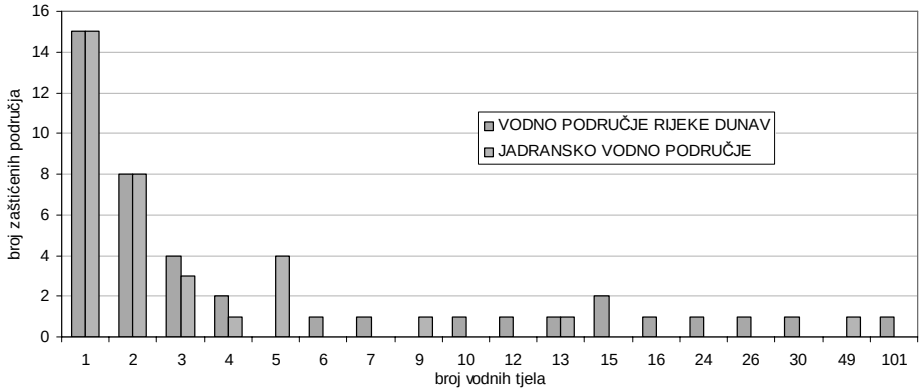


Slika 2. Broj zaštićenih područja u odnosu na kategorije zaštite

Od ukupnog broja vodnih tijela u Republici Hrvatskoj oko 30% nalazi se u razmatranim zaštićenim područjima, odnosno 391 vodno tijelo. Od toga je 377 vodnih tijela tekućica (preko 95%) i 14 vodnih tijela stajaćica (Slika 3.).



Najviše vodnih tijela (101) nalazi se u Regionalnom parku - Mura-Drava, a na Jadranskom vodnom području 49 vodnih tijela nalazi se u Parku prirode Velebit. Preko 60% zaštićenih područja ima jedno ili dva vodna tijela (Slika 4.).



Slika 4. Broj vodnih tijela u zaštićenim područjima

Ocjena stanja određena je na temelju prijelaznih odredbi Uredbe o standardu kakvoće voda. Opće fizikalno-kemijsko stanje pojedinog vodnog tijela određeno je najnižom od četiri ocjene za obuhvaćene fizikalno-kemijske elemente kakvoće. Procjena općeg fizikalno-kemijskog stanja temelji se na 4 osnovna kemijska pokazatelja kakvoće: BPK_5, KPK, kao pokazateljima organskog opterećenja te ukupnom dušiku i ukupnom fosforu, kao pokazateljima opterećenja hranjivim tvarima. Za vodna tijela na kojima nema mjernih postaja stanje je procjenjeno interpolacijom, na temelju izmjerenog stanja na najbližim mjernim postajama i prostorne distribucije točkastih i raspršenih izvora onečišćenja na neposrednom priljevnom području vodnog tijela.

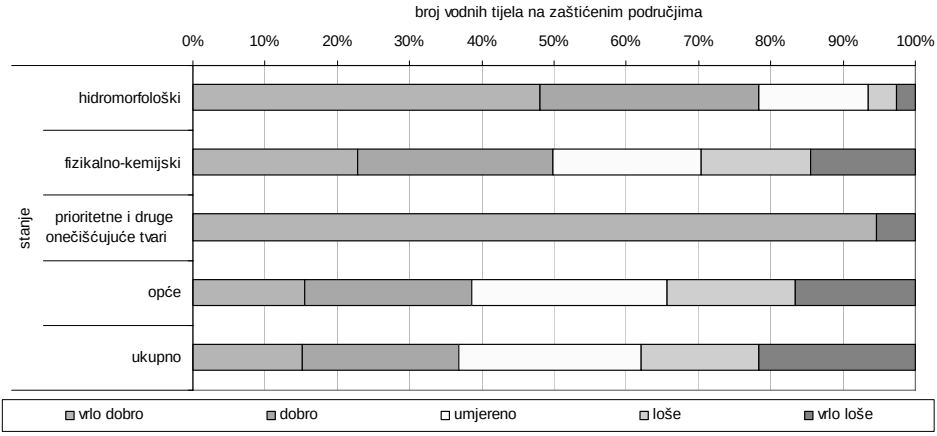
Procjena općeg hidromorfološkog stanja izvršena je na osnovu dostupnih podataka za niz hidromorfoloških elemenata kakvoće - količina i dinamika vodenog toka, veza s podzemnim vodama, longitudinalni kontinuitet rijeke, lateralni kontinuitet rijeke, kanaliziranje, varijacija širine i dubine rijeke, struktura i sediment dna rijeke i struktura obalnog pojasa. Navedeni elementi prikupljeni su i sistematizirani u Hrvatskim vodama. Za svaki hidromorfološki element kakvoće izvršena je procjena hidromorfološke promjene nastala uslijed zahvata, ili građevine koji su evidentirani na pojedinom vodnom tijelu. S obzirom na veličinu same promjene izvršena je klasifikacija stanja pojedinog vodog tijela prema određenom hidromorfološkom elementu. Veličina hidromorfološke promjene na razini vodnog tijela jednaka je srednjoj vrijednosti promjena svih njegovih dionica, pri čemu je težinski faktor dužina dionice. Opće hidromorfološko stanje vodnog tijela određeno je najnižom od ocjena za sve hidromorfološke elemente kavoće.

Ocjena općeg fizikalno-kemijskog i hidromorfološkog stanja odgovara nižoj od dvije pojedinačne ocjene. U vrlo dobrom, ili dobrom stanju je na vodnom području rijeke Dunav 40% vodnih tijela, a na Jadranskom vodnom području 78% vodnih tijela.

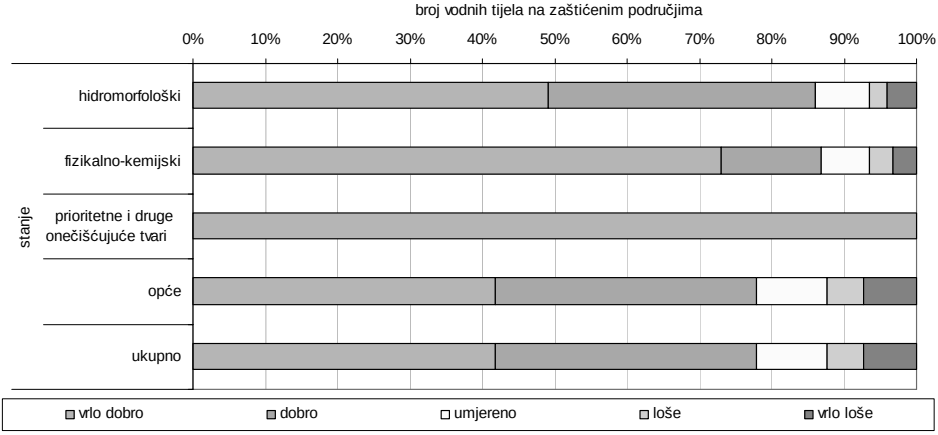
Ukupno stanje objedinjuje stanje vodnih tijela prema hidromorfološkim pokazateljima, stanje vodnih tijela prema fizikalno-kemijskim pokazateljima i stanje vodnih tijela prema opasnim i specifičnim onečišćujućim tvarima. Kartografski prikaz ukupnog stanja vodnih tijela na zaštićenim područjima se nalazi na slici 5.

Slika 5. Ukupno stanje na zaštićenim područjima

Na Jadranskom vodnom području je ukupno stanje jednako općem jer sva vodna tijela u zaštićenim područjima imaju vrlo dobro stanje prema prioritetnim i drugim onečišćujućim tvarima. Na vodnom području rijeke Dunav na 15 vodnih tijela nije postignuto dobro stanje prema opasnim i specifičnim onečišćujućim tvarima , te je ukupno u dobrom, ili vrlo dobrom stanju nešto manje od 37% vodnih tijela (Slika 6. i Slika 7.).



Slika 6. Stanje vodnih tijela u zaštićenim područjima - vodno područje rijeke Dunav



Slika 7. Stanje vodnih tijela u zaštićenim područjima - Jadransko vodno područje

Svakako treba uzeti u obzir da je zadaća vodnoga gospodarstva dovesti u dobro, ili vrlo dobro stanje sva vodna tijela. Okvirnom Direktivom o vodama postavljeni su pragovi najmanjih vodnih tijela koji se uzimaju u analizu u Planovima upravljanja vodnim područjima što ne isključuje zaštitu svih voda bez obzira na njihovu veličinu. To se osobito odnosi na krš gdje je udio takvih voda vrlo značajan. Također je za očekivati da će se do izrade sljedećih planova unaprijediti metodologije procjene stanja, monitoring i ostali čimbenici koji će dovesti do pouzdanije spoznaje o stanju voda, te omogućiti bolje upravljanje njima.

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je stanje voda na zaštićenim područjima prirode koja su preuzeta iz Registra zaštićenih područja (područja posebne zaštite voda). Uspostava Registra omogućila je po prvi puta sistematičan i jedinstven pregled svih zaštićenih područja koja zahtjevaju pažnju vodnog gospodarstva.

Na oko pola odabranih zaštićenih područja nije bilo površinskih vodnih tijela tekućica i stajaćica koje zadovoljavaju pragove Okvirne Direktive o vodama.

Ukupan broj promatranih zaštićenih područja iznosi 75, na ukupno 391 vodnih tijela Analizom je utvrđeno da je stanje promatranih vodnih tijela znatno bolje na Jadranskom vodnom području čemu najviše doprinosi Park prirode Velebit. Na vodnom području rijeke Dunav na 15 vodnih tijela nije postignuto dobro stanje prema opasnim i specifičnim onečišćujućim tvarima, te je ukupno u dobrom, ili vrlo dobrom stanju nešto manje od 37% vodnih tijela. Na Jadranskom vodnom području je ukupno stanje jednako općem, jer sva vodna tijela u zaštićenim područjima imaju vrlo dobro stanje prema prioritetnim i drugim onečišćujućim tvarima.

LITERATURA

[1] Hrvatske vode (2010.): Plan upravljanja vodnim područjima - Nacrt, Zagreb.

[2] Hrvatske vode (2002): Okvirna direktiva o vodama Europske unije, Vodnogospodarska osnova Hrvatske, izdanja II, Zagreb.

[3] Kadić, V.; Barbalić, D.; Miholić, T.; (2007): Hidromorfološki utjecaji na stanje vodotoka - sliv Kupe, Hrvatske vode i Europska unija - Izazovi i mogućnosti, Zbornik radova, str 145-152.

[4] Uredba o standardu kakvoće voda (2010): NN 89/2010.

[5] Zakon o vodama (2009): NN 153/09.

[6] Zakon o zaštiti prirode (2005): NN 70/05, 139/08.

AUTORI

Tina Miholić, dipl. ing. biol. [a]

Darko Barbalić, dipl. ing. građ. [b]

Sandra Šturlan Popović, dipl. ing. građ. [c]

[a] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, tina.miholic@voda.hr

[b] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, darko.barbalic@voda.hr

[c] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, sandra.sturlanpopovic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.28.

PRIJEDLOG PROSTORNOG RASPOREDA MREŽE OPERATIVNOG MONITORINGA PREMA OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA

Darko Barbalić, Đorđa Medić, Sanja Barbalić

SAŽETAK: Okvirna direktiva o vodama razdvaja nadzorni, operativni i istraživački monitoring. Osnovna uloga operativnog monitoringa je praćenje stanja na vodnim tijelima za koje je utvrđeno postojanje rizika da ekološki ciljevi neće biti zadovoljeni, te ocjenjivanje promjene stanja takvih voda uslijed provedbe programa mjera.

Imajući u vidu veliki broj vodnih tijela i parametara koje je potrebno pratiti te organizacijska, financijska i druga ograničenja, kao i relativno čestu potrebu usuglašavanja monitoringa, neophodno je definiranje kriterija i metodologija koje omogućavaju što jednostavniju izradu prijedloga mreže monitoringa. U radu je opisana metoda primijenjena pri izradi nacrta Plana upravljanja vodnim područjem, rezultirajući prijedlog, te su dane preporuke za daljnji razvoj metodologije i njenu primjenu.

KLJUČNE RIJEČI: Operativni monitoring, Plan upravljanja vodnim područjima, prostorni raspored mreže operativnog monitoringa

PROPOSAL OF SPATIAL LAYOUT OF WFD OPERATIVE MONITORING NETWORK

SUMMARY: Monitoring in compliance with Water Framework Directive consists of Surveillance, Operational and Investigative monitoring.

The objectives of operational monitoring are to establish the status of those bodies identified as being at risk of failing to meet their environmental objectives and assess any changes in the status of such bodies resulting from the programme of measures.

In River Basin Management Plan draft a significant number of water bodies was selected for operational monitoring with large number of parameters. However, organizational and financial constraints did not allow the monitoring of each and every water body, so methodology for prioritization of monitoring sites and grouping of water bodies for the purposes of operational monitoring was developed. Its application is described in this paper.

KEY WORDS: Operative monitoring, River Basin Management Plan, spatial layout of monitoring network

1. UVOD

Od 2009. godine praćenje stanja površinskih i podzemnih voda postupno se usklađuje sa zahtjevima Okvirne direktive o vodama (Hrvatske vode, 2002). Donošenjem Uredbe o standardu kakvoće voda iz 2010. godine (Uredba, 2010) uvodi se tipizacija površinskih voda i tip-specifični sustav ocjenjivanja stanja voda te predviđa proširenje programa monitoringa pokazateljima hidromorfološkog stanja voda, koji nisu bili obuhvaćeni dosadašnjim monitoringom.

Okvirna direktiva o vodama razdvaja nadzorni, operativni i istraživački monitoring.

Nadzorni monitoring provodi se na dovoljnom broju vodnih tijela kako bi se ocijenilo sveukupno stanje površinskih voda u svakom slivu, dugotrajne promjene u prirodnim uvjetima i dugotrajne promjene izazvane široko rasprostranjenim antropogenim aktivnostima. Odabiru se mjerne postaje na:

- vodotocima s površinom sliva većom od 2 500 km^2;
- na vodnim tijelima koje prelaze državnu granicu i
- na jezerima s površinom jezera većom od 0,5 km^2.

Nadzornim monitoringom se kroz najmanje godinu dana prate svi pokazatelji indikativni za biološke, hidromorfološke i opće fizikalno-kemijske elemente kakvoće. Za točnu klasifikaciju biološki elementi kakvoće moraju biti određeni do odgovarajućeg taksonomskog stupnja. Obavezno je pratiti prioritetne tvari koje se ispuštaju u slivu, kao i ostala zagađivala iz Dodatka VIII Okvirne direktive o vodama koja se ispuštaju u značajnim količinama.

Osnovna uloga operativnog monitoringa je praćenje stanja na vodnim tijelima za koje je utvrđeno postojanje rizika da ekološki ciljevi neće biti zadovoljeni, te ocjenjivanje promjene stanja takvih voda uslijed provedbe programa mjera. Monitoring postaje operativnog monitoringa se biraju:

- na vodnim tijelima koja su izložena pritisku jačeg koncentriranog izvora;
- na vodnim tijelima koja su ugrožena jakim raspršenim izvorom i
- na vodnim tijelima izloženima riziku od jačeg hidromorfološkog pritiska.

Operativnim monitoringom se prate biološki i hidromorfološki elementi najosjetljiviji na antropogene utjecaje.

Istraživački monitoring provodi se u slučajevima:

- kada nisu poznati razlozi prekoračenja graničnih vrijednosti;
- gdje nadzorni monitoring ukazuje na malu vjerojatnost da određena vodna cjelina postigne ciljeve zaštite okoliša, a operativni monitoring još nije uspostavljen i
- radi utvrđivanja veličine i utjecaja slučajnog zagađenja.

Istraživački monitoring treba osigurati informacije za uspostavljanje programa mjera za postizanje ekoloških ciljeva i određivanje posebnih mjera za otklanjanje posljedica slučajnog zagađenja. Taj monitoring može biti intenzivniji u pogledu učestalosti ispitivanja, fokusiranosti na određena vodna tijela ili dijelove vodnih tijela te na određene elemente kakvoće.

Analizom pritisaka i utjecaja, provedenom za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima (Hrvatske vode, 2010), za preko 800 vodnih tijela procijenjeno je da ne zadovoljavaju kriterije dobrog stanja, odnosno procijenjeno je da postoji vjerojatnost da

neće postići dobro stanje (slike 1 i 2). Zbog ograničenih financijskih i organizacijskih mogućnosti, može se očekivati da se operativni monitoring neće moći provoditi na svim vodnim tijelima koja treba obuhvatiti ovom vrstom monitoringa.

2. NAČIN ODREĐIVANJA PRIORITETA

Imajući u vidu veliki broj vodnih cjelina i parametara koje je potrebno pratiti operativnim monitoringom te organizacijska, financijska i druga ograničenja, kao i relativno čestu potrebu usuglašavanja monitoringa, neophodno je definiranje kriterija i metodologija koje omogućavaju što jednostavniju izradu prijedloga mreže monitoringa. Olakšavajuća okolnost je što Okvirna direktiva o vodama dozvoljava grupiranje vodnih tijela za potrebe monitoringa (CIS, 2003). Radi toga, vodna tijela na kojima je potrebno provoditi monitoring rangirana su u četiri prioritetne skupine. Time je omogućeno jednostavno podešavanje opsega monitoringa organizacijskim i drugim ograničenjima, a s druge strane poznata je uloga svake pojedine postaje u ukupnom monitoringu. Rangiranju je pristupljeno na slijedeći način:

Promjene stanja voda, odnosno promjene uzrokovane primjenom mjera zaštite voda, imaju kumulativni efekt nizvodno (pronos zagađenja). Radi toga, načelno je usvojeno da se mjerodavno mjesto za provođenje monitoringa treba nalaziti na nizvodnom dijelu vodnog tijela ili grupe vodnih tijela. Tako su za prvi prioritet za lociranje postaja operativnog monitoringa (prioritetnu skupinu I) odabrana vodna tijela koja je potrebno uključiti u program operativnog monitoringa, a:

- nalaze se neposredno uzvodno od ušća u more,
- nalaze se neposredno uzvodno od ponora te
- nemaju direktnu nizvodnu vezu (površinskim tečenjem).

Efekte mjera i promjene stanja teže je procijeniti pri značajnijim promjenama hidroloških uvjeta, odnosno ako se radi o bitnim promjenama koncentracija onečišćivača uslijed ulijevanja pritoka. Radi toga su drugim prioritetom za lociranje postaja operativnog monitoringa (prioritetna skupina II) proglašena vodna tijela koja se nalaze neposredno uzvodno od vodnih tijela za koja je procijenjeno najmanje dobro stanje, odnosno na kojima se pouzdano može očekivati da će zadovoljavati ciljeve zaštite vodnog okoliša.

Korištenjem ova dva kriterija, uspjelo se sa minimalnim brojem monitoring postaja obuhvatiti sve grupe vodnih tijela za koje je potrebno uspostaviti operativni monitoring.

Ipak, ukoliko su vodna tijela na ovaj način grupirana u vrlo duge nizove s velikim brojem vodnih tijela, postoji mogućnost gubitka informacije o promjeni stanja/učinka pojedinih mjera uslijed procesa koji se odvijaju tijekom tečenja. Radi što jednostavnijeg određivanja efekata pojedinačnih mjera kao treća prioritetna razina za izbor lokacija monitoring postaja (prioritetna skupina III) predlažu se ona vodna tijela čijim se izborom postiže što manji broj vodnih tijela između dviju postaja operativnog monitoringa.

Analiza je provedena sekvencijalno na slijedeći način:

- Određeno je vodno tijelo čija se promjena stanja mjeri na postaji koja je od nje udaljena nizvodno za najveći broj vodnih tijela odnosno put transporta tereta od tog vodnog tijela do postaje monitoringa je najduži.
- Položaj monitoring postaje je predviđen na onom vodnom tijelu koja se nalazi na polovici puta (po broju vodnih tijela).

- Postupak se ponavlja iterativno sve dok između postaja monitoringa ne ostanu dva ili manje vodnih tijela.

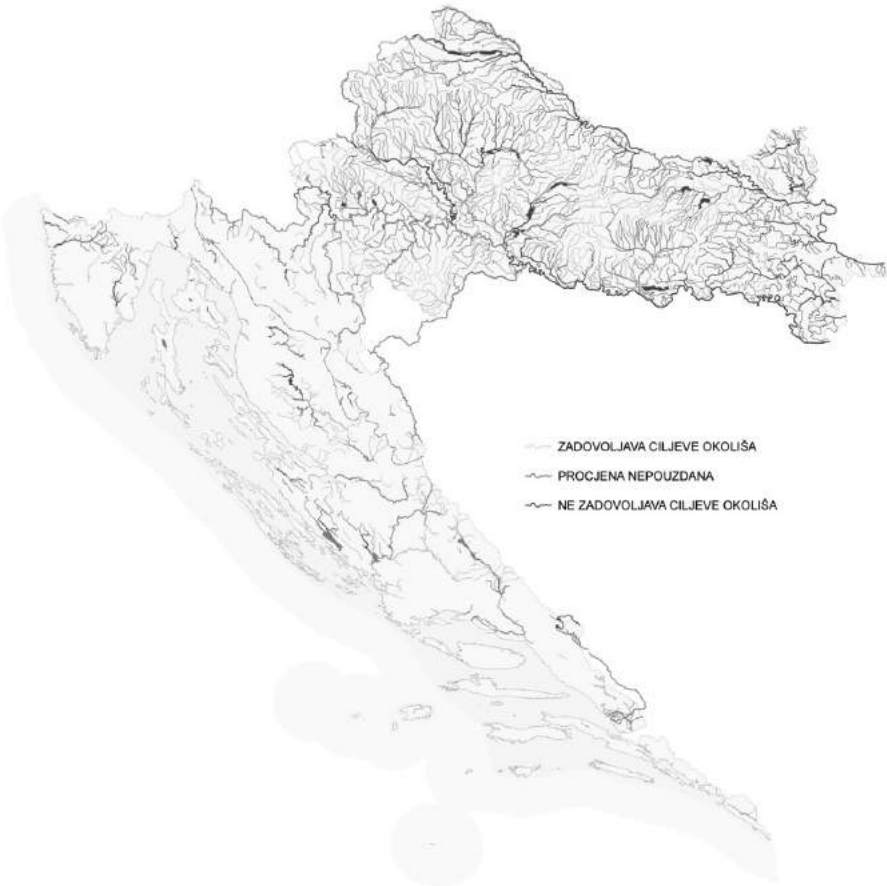
Ovakav način rada je omogućio i dodatnu prioritizaciju postaja unutar treće grupe jer se svaka slijedeća postaja postavlja na polovici najdužeg preostalog puta pa ima manji prioritet od prethodno postavljene postaje, a veći od slijedeće.

Četvrta grupa vodnih tijela (prioritetna skupina IV), s najnižim prioritetom, obuhvaća sva ostala vodna tijela na kojima nije postignuto dobro stanje i ona vodna tijela na kojima procjena stanja nije pouzdana.

Analiza je napravljena vodeći računa o tri osnovne grupe pokazatelja, odnosno za opće fizikalno-kemijsko stanje, hidromorfološko i kemijsko stanje. Provedena je korištenjem GIS sustava uspostavljenog za potrebe izrade Planova upravljanja vodnim područjem.

Prijedlog je vezan uz vodno tijelo, a određivanje najpogodnije mikrolokacije se treba provesti za svaku postaju posebno uzimajući u obzir stanje i pristup lokaciji i to za one mjerne postaje koje će biti odabrane i uvrštene u Plan praćenja stanja voda.

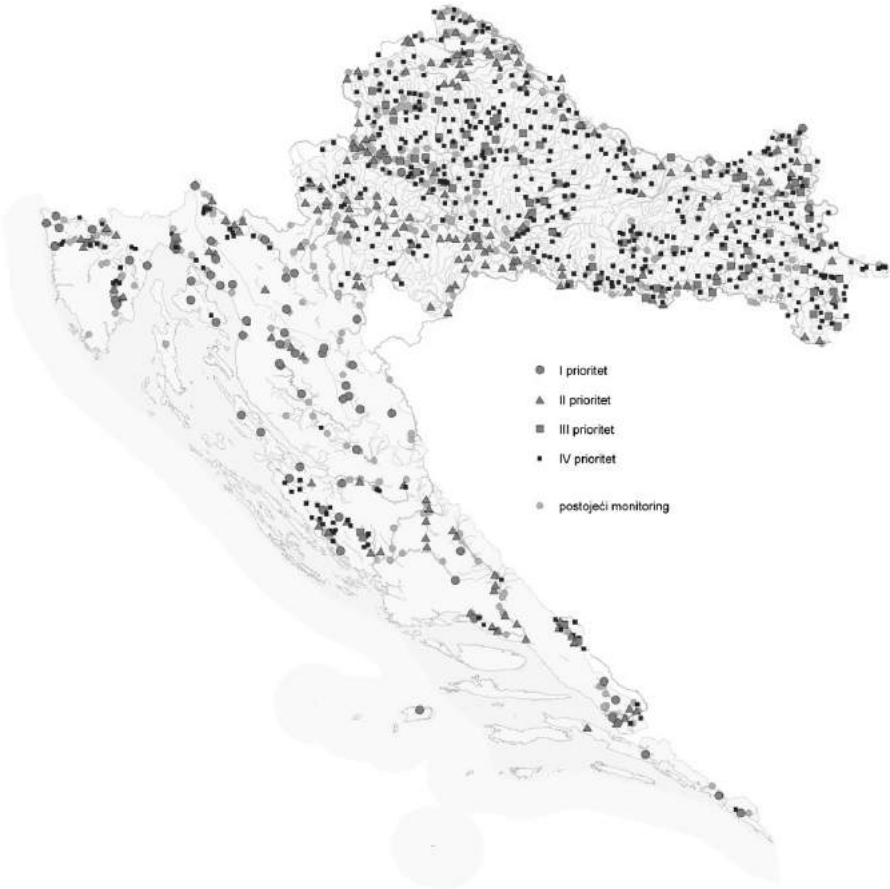
Slika 1. Ukupno stanje



Slika 2. Ukupni rizik

3. REZULTATI

Navedenim kriterijima određeno je ukupno 269 monitoring postaja kao najmanji mogući broj postaja za nadziranje svih vodnih tijela (Prioritetne skupine I i II). S uključivanjem dodatnih 79 postaja III prioritetne skupine, odnosno uz mrežu od ukupno 348 postaja, postigao bi se takav raspored monitoringa pri kojem bi najveća udaljenost između vodnih tijela, koju je potrebno „pokriti" operativnim monitoringom, bila manja od 3 vodna tijela. Za nadziranje svih vodnih tijela je potrebno uključivanje još 507 postaja prioritetne skupine IV, čime bi ukupna mreža iznosila 855 postaja (tablice 1 i 2).



Slika 3. Prijedlog položaja monitoring postaja

BROJ MJERNIH POSTAJA PREMA SKUPINI POKAZATELJA				
PRIORITETNA SKUPINA	UKUPNI BROJ POSTAJA U SKUPINI	BROJ POSTAJA NA KOJIMA JE POTREBNO PROVODITI MONITORING ODREĐENE SKUPINE POKAZATELJA		
		HIDROMORFOLOŠKI POKAZATELJI	FIZIKALNO-KEMIJSKI POKAZATELJI	OPASNE I SPECIFIČNE ONEČIŠĆUJUĆE TVARI
I	71	47	39	1
II	198	61	129	20
III	79	45	68	1
IV	507	220	474	9
UKUPNO	855			

Tablica 1. Broj mjernih postaja prema skupini pokazatelja

BROJ MJERNIH POSTAJA PREMA VODNIM PODRUČJIMA							
VODNO PODRUČJE	UKUPNI BROJ POSTAJA	PRIORITETNA SKUPINA				PROSJEČNI BROJ VODNIH TIJELA U GRUPI	
		I	II	III	IV	PRIORITET I i II	PRIORITET I , II i III
JADRANSKO VODNO PODRUČJE	164	49	47	7	61	1.71	1.59
VODNO PODRUČJE RIJEKE DUNAV	691	22	151	72	446	3.99	2.82

Tablica 2. Broj mjernih postaja prema vodnim područjima

Rezultati obrade (prostorni položaj i atributi) su pohranjeni u GIS podatkovnom sloju i prikazani na slici 3.

ZAKLJUČAK

Navedenom prioritizacijom omogućen je konzistentan, transparentan i brz proces grupiranja vodnih tijela i definiranja prioriteta prilikom odabira položaja mjernih postaja operativnog monitoringa. Time je omogućena i jednostavnija izrada konačnog programa monitoringa kao i njegovo prilagođavanje ostalim ograničenjima.

Način izbora lokacija je usklađen s Planovima upravljanja vodnim područjima jer se temelji na istim metodama. Također, korištenje podataka i informacija iz Plana omogućava unaprjeđenje ovdje iznesene prioritizacije, istodobno s poboljšanjima koja će biti uvedena pri izradi slijedećih planova.

Konačni odabir broja i točnih položaja postaja, naravno, treba provesti uvažavanjem i drugih kriterija: financijskih i organizacijskih mogućnosti, dostupnosti profila za uzimanje uzoraka, položaja postaja ostalih vrsta monitoringa i slično.

Na osnovu ovog prijedloga proširenja monitoringa može se zaključiti da još uvijek postoji potreba za značajnim proširenjem postojećeg programa po broju postaja, čime bi se u velikoj mjeri povećala pouzdanost ocjene stanja voda. Nadalje, neophodan je i intenzivan rad na uspostavi redovitog monitoringa pokazatelja hidromorfološkog stanja koje u velikoj mjeri predstavlja novinu u hrvatskoj vodnogospodarskoj praksi.

LITERATURA

[1] CIS (2003): *CIS Guidance Document No 2: Identification of Water Bodies*, Working Group on Water Bodies, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

[2] CIS (2003): *CIS Guidance Document No 7: Monitoring under the Water Framework Directive*, Produced by Working Group 2.7 - Monitoring, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

[3] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo (2002): *Okvirna Direktiva o vodama Europske unije, Vodnogospodarska osnova Hrvatske,* izdanja II, Zagreb

[4] Hrvatske vode (2010): *Plan upravljanja vodnim područjima – Nacrt*, Zagreb

[5] Hrvatske vode (2011): *Plan praćenja stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2011. godini*

[6] *Uredba o standardu kakvoće voda* (2010): NN 89/2010.

AUTORI

Darko Barbalić[a], dipl.ing.građ.
Đorđa Medić[b], dipl.inž.kem.
Sanja Barbalić[c], dipl.ing.građ.

[a] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, *darkob@voda.hr*

[b] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, *dmedic@voda.hr*

[c] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, *Sanja.Barbalic@voda.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.29.

PLANIRANJE MONITORINGA KEMIJSKOG STANJA VODA U SKLADU SA PLANOVIMA UPRAVLJANJA

Neven Bujas, Jasmina Antolić, Đorđa Medić

SAŽETAK: Okvirna Direktiva o vodama Europske unije za sve članice postavlja jednake zahtjeve u procesu planiranja i provođenja programa monitoringa kao osnove za ocjenu stanja voda. Hrvatske vode izrađuju Plan praćenja stanja površinskih i podzemnih voda koji je dijelom usklađen sa zahtjevima Okvirne direktive o vodama provedbom nadzornog monitoringa površinskih kopnenih voda u periodu 2009-2010. godina, te počecima operativnog monitoringa površinskih kopnenih voda. Cilj nadzornog monitoringa je dopuna i vrednovanje postupka ocjene utjecaja, učinkovito dizajniranje budućih planova monitoringa, ocjenjivanje dugoročnih promjena prirodnih uvjeta i ocjenjivanje dugoročnih promjena uzrokovanih intenzivnim ljudskim djelatnostima. Cilj operativnog monitoringa je praćenje stanja voda za koje je utvrđeno postojanje rizika da ekološki ciljevi neće biti zadovoljeni, te ocjenjivanje promjene stanja takvih voda uslijed provedbe programa mjera.

Okvirna direktiva o vodama definira kemijske tvari sistematizirane kao prioritetne i prioritetne opasne tvari, i specifične tvari koje su indikativne za postizanje vrlo dobrog i dobrog ekološkog stanja i dobrog kemijskog stanja voda kao i standarde kakvoće voda za te tvari koji ne bi smjeli biti prekoračeni u cilju zaštite ljudskog zdravlja i vodenog okoliša. Analitički postupci kojima se ispituje prisustvo i koncentracija ovih tvari u vodenom okolišu tehnički su vrlo zahtjevni i skupi, što predstavlja značajan stručni i financijski napor za laboratorije koji ih planiraju primjenjivati.

U ovom radu se, uz plan monitoringa kemijskih pokazatelja prema kojima se ocjenjuje kemijsko stanje voda, daje i osvrt na mogućnosti analize ovih pokazatelja u laboratorijima koji, uz laboratorij Hrvatskih voda, sudjeluju u monitoringu površinskih i podzemnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: monitoring kemijskog stanja voda, analitički postupci, Okvirna direktiva o vodama

PLANNING THE MONITORING OF CHEMICAL WATER STATUS IN ACCORDANCE WITH MANAGEMENT PLANS

SUMMARY: The Water Framework Directive (WFD) of the European Union sets equal

requirements for all Member States in the process of planning and implementation of a monitoring programme as the basis for water status assessment. Hrvatske vode prepare a Monitoring Plan for Surface and Groundwater Bodies which is partly harmonized with the requirements of the WFD in terms of the implementation of surveillance monitoring of inland surface water bodies in 2009-2010 and the commencement of operational monitoring of inland surface water bodies. The objective of surveillance monitoring is to supplement and validate the impact assessment procedure, efficiently and effectively design future monitoring programmes, assess long-term changes in natural conditions, and assess long-term changes resulting from widespread anthropogenic activity. The objective of operational monitoring is to establish the status of those water bodies identified as being at risk of failing to meet their environmental objectives, and assess any changes in the status of such bodies resulting from the programmes of measures.

The WFD defines chemical substances systematized as priority substances, and specific substances indicative of the achievement of high and good chemical and ecological status of water bodies, as well as their water quality standards which should not be exceeded in order to protect human health and the aquatic environment. Analytical procedures by means of which the concentration of these substances in the aquatic environment is tested are technically demanding and expensive, which represents a significant technical and financial pressure for the laboratories which intend to use them.

In addition to the monitoring plan for chemical parameters on the basis of which the chemical status of water bodies is assessed, this paper also addresses the possibilities of analyzing these parameters in the laboratories which, together with the laboratory of Hrvatske vode, take part in the monitoring of surface water and groundwater bodies.

KEY WORDS: monitoring of chemical water status, analytical procedures, Water Framework Directive

1. UVOD

Jedno od važnih poglavlja nacrta plana upravljanja vodnim područjem (Hrvatske vode, 2010) je ocjena stanja voda. Ona predstavlja polaznu točku u razvoju programa mjera na osnovu kojih će tijela površinskih i podzemnih voda do 2015. godine postići dobro stanje. Pod dobrim stanjem za površinske vode podrazumjevamo najmanje dobro ekološko i dobro kemijsko stanje, a za podzemne vode dobro kemijsko stanje (NN 89/2010).

Okvirna direktiva o vodama (Hrvatske vode, 2002) za sve države članice Europske unije uspostavlja iste zahtjeve u provedbi praćenja i ocjenjivanja stanja voda. U Republici Hrvatskoj, Plan praćenja stanja površinskih i podzemnih voda za 2009. i 2010. dijelom je usklađen sa zahtjevima Zakona o vodama i Okvirne direktive o vodama Europske unije, jer je uspostavljen nadzorni monitoring površinskih kopnenih voda te dio operativnog monitoringa površinskih kopnenih voda (Hrvatske vode 2009. i 2010.). Cilj nadzornog monitoringa je dopuna i vrednovanje postupka ocjene utjecaja, učinkovito dizajniranje budućih planova monitoringa, ocjenjivanje dugoročnih promjena prirodnih uvjeta i ocjenjivanje dugoročnih promjena uzrokovanih intezivnim ljudskim djelatnostima. Cilj operativnog monitoringa je praćenje stanja voda, za koje je utvrđeno postojanje rizika da ekološki ciljevi neće biti zadovoljeni, te ocjenjivanje promjene stanja takvih voda uslijed provedbe programa mjera (EC, 2003).

2. KEMIJSKO STANJE POVRŠINSKIH VODA

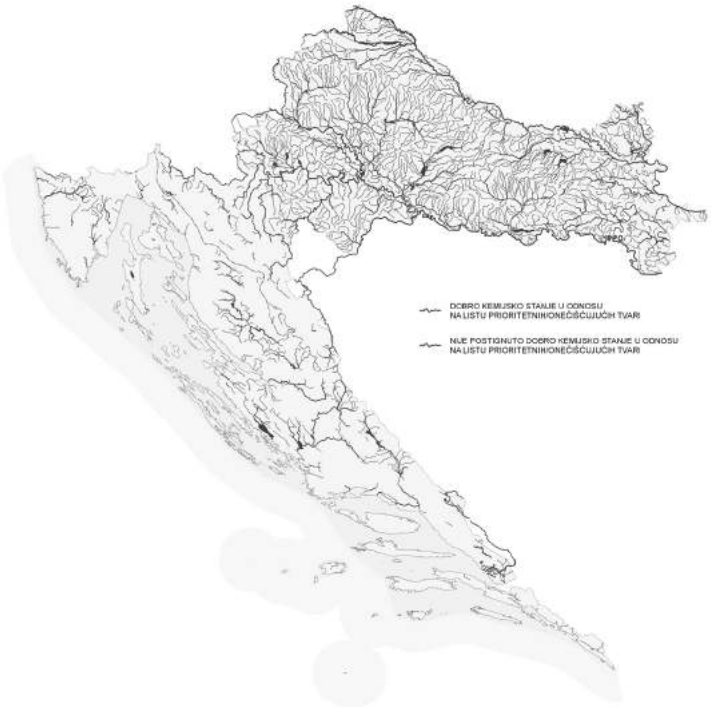
Dodatkom X Okvirne direktive o vodama određeni broj kemijskih onečišćivala identificiran je kao osobit problem u površinskim vodama Europske unije zbog njihovog rasprostranjenog korištenja i prisustva u površinskim, uključivo i priobalnim vodama. Te su tvari nazvane „prioritetne tvari", a unutar njih je definirana podskupina „prioritetnih opasnih tvari" za koje vrijede stroži ciljevi zaštite okoliša zbog njihove visoke postojanosti, bioakumulacije i toksičnosti. Sve države članice trebaju poduzeti mjere kako bi se osiguralo postupno smanjenje onečišćenja voda prioritetnim tvarima i prestanak ili postupno ukidanje emisija, ispuštanja i gubitaka prioritetnih opasnih tvari. Ocijenjeno je da je najbolji način za postizanje tih ciljeva uskladiti standarde kakvoće okoliša za prioritetne tvari na razini Europske unije. To je i učinjeno kroz Direktivu 2008/105/EZ kojom se utvrđuju standardi kakvoće okoliša za prioritetne tvari i prioritetne opasne tvari u površinskim vodama, s ciljem postizanja dobrog kemijskog stanja površinskih voda. Odredbe te Direktive transponirane su i u naše zakonodavstvo kroz Uredbu o standardima kakvoće voda (NN 89/10). Utvrđivanje standarda kakvoće vodnoga okoliša (SKVO) za specifične onečišćujuće tvari prepušteno je svakoj državi članici. Standardi kakvoće vodnoga okoliša su koncentracije onečišćivala u površinskim vodama koje ne bi smjele biti premašene kako bi se zaštitilo zdravlje ljudi i okoliš. SKVO je izražen kao prosječna godišnja koncentracija (PGK), odnosno maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK). PGK je prosječna koncentracija pojedinog onečišćivala ili grupe onečišćivala koja se ne smije premašiti unutar cjeline površinske vode s ciljem izbjegavanja dugoročnih posljedica za ekosustave. MDK je maksimalna izmjerena koncentracija pojedinog onečišćivala ili grupe onečišćivala koja se ne smije premašiti unutar cjeline površinske vode s ciljem izbjegavanja kratkoročnih posljedica za ekosustave.

Kemijsko stanje tijela površinske vode određuje se u odnosu na izmjerene koncentracije prioritetnih i prioritetnih opasnih tvari. Tijelo površinske vode ima dobro kemijsko stanje ako je prosječna godišnja koncentracija prioritetnih i prioritetnih opasnih tvari manja ili jednaka standardu kakvoće vodnoga okoliša, odnosno ako najviša izmjerena koncentracija ne premašuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju (NN 89/2010).

3. REZULTATI

Za procjenu kemijskog stanja kopnenih površinskih voda prema prioritetnim i prioritetnim opasnim tvarima korišteni su rezultati analiza prikupljeni sustavnim ispitivanjem kakvoće površinskih voda tijekom 2009. godine. Za vodna tijela na kojima nema mjernih postaja, stanje je procijenjeno interpolacijom, na temelju rezultata analiza sa najbližih mjernih postaja i prostorne distribucije relevantnih točkastih izvora onečišćenja.

Ocjena je napravljena na temelju prosječnih godišnjih koncentracija i uspoređena sa standardom kakvoće vodnoga okoliša iz Uredbe o standardu kakvoće voda. Prilikom procjene kemijskog stanja uzeti su u obzir svi pokazatelji sa liste prioritetnih i prioritetnih opasnih tvari osim trifluralina, pentabromdifeniletera, tributilkositrovih spojeva i C_{10-13} kloralkana, koji nisu ispitivani zbog toga što za određivanje tih pokazatelja niti jedan od ovlaštenih laboratorija nije osposobljen.



Slika 1. Procijenjeno kemijsko stanje

Prilikom procjene kemijskog stanja površinskih voda određen je i stupanj pouzdanosti procjene stanja tijela površinske vode. Stupnjem pouzdanosti definira se vjerojatnost da je dobivena ocjena stanja vodnog tijela zaista takva kako pokazuju rezultati monitoringa na odgovarajućim mjernim postajama. Stupanj pouzdanosti je definiran u tristupanjskoj ljestvici (vrlo visoki, srednji i niski stupanj pouzdanosti). Visoki stupanj pouzdanosti znači da je ocjena stanja vrlo pouzdana. Srednji i niski stupanj pouzdanosti znači da su potrebna dodatna mjerenja kako bi ocjena stanja bila konačno potvrđena.

Dobro kemijsko stanje procijenjeno je na 1204 vodna tijela rijeka i 33 vodna tijela jezera. Na jadranskom vodnom području sva vodna tijela su u dobrom kemijskom stanju. Na vodnom području rijeke Dunav nije postignuto dobro kemijsko stanje na 30 vodnih tijela (Hrvatske vode-Nacrt, 2010). Razlog nepostizanja dobrog kemijskog stanja je prekoračenje standarda kakvoće žive (na 5 vodnih tijela) te skupine pesticida (na 6 vodnih tijela). Četiri vodna tijela nisu postigla dobro kemijsko stanje zbog povišenih vrijednosti di(2-etilheksil)ftalata (DEHP), ali sa srednjim stupnjem pouzdanosti jer učestalost uzorkovanja nije bila u skladu sa zahtjevima Okvirne direktive o vodama. Također, primjenjena metoda za analizu DEHP nije udovoljavala minimalne tehničke zahtjeve koje propisuje direktiva o tehničkim zahtjevima kemijskih analiza i monitoringu statusa voda (2009/90/EZ), koja je početkom 2011. godine prenesena i u hrvatsko zakonodavstvo kroz Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja voda (NN 20/2011).

Pregledom podataka o analitičkim metodama i pripadajućim granicama kvantifikacije (LOQ) devet laboratorija uključenih u provedbu sustavnog ispitivanja kakvoće površinskih voda prikupljenima u bazi podataka Hrvatskih voda u 2010. godini, primjećuje se raznolikost korištenih metoda i veliki raspon vrijednosti granica kvantifikacije pojedinih prioritetnih i prioritetnih opasnih tvari. Kako Pravilnik (NN 20/2011) propisuje minimalne tehničke uvjete za kemijske analize, pri čemu numerička vrijednost granice kvantifikacije mora udovoljavati barem 30% vrijednosti prosječne godišnje koncentracije standarda kakvoće vodnoga okoliša (PGK-SKVO), najniža i najviša prijavljena granica kvantifikacije su uspoređene sa tim minimalnim zahtjevom.

Treba napomenuti da devet promatranih laboratorija ne provode identične programe ispitivanja kakvoće voda, što znači da ne ispituju svi iste pokazatelje.

Analizom pregledanih podataka utvrđeno je da je za petnaest ispitivanih pokazatelja prioritetnih tvari kod svih promatranih laboratorija minimalni zahtjev iz Pravilnika (NN 20/2011) ispunjen, pa se rezultate analiza ovih pokazatelja može smatrati vrlo pouzdanima.

Red. br.	Pokazatelji	Oznaka norme	Granica detekcije (LOD)	Granica kvantifikacije (LOQ)	minimalna LOQ = 30% PGK SKVO	PGK SKVO za površinske vode
1.	Kadmij, otopljeni (µg/l)	ISO 17294-2; HRN ISO 15586:2008; HRN EN ISO 11885:1998; HRN EN ISO 5961:1998; SM 3113 B.:1998	0,003 - 0,1	0,01 - 0,3	0,024 - 0,075	0,08 - 0,25*
2.	Olovo, otopljeno (µg/l)	ISO 17294-2; HRN ISO 15586:2008; HRN EN ISO 11885:1998; HRN EN ISO 5961:1998; SM 3113 B.:1998	0,002 - 0,4	0,007 - 1,33	2,16	7,2
3.	Simazin (µg/l)	HRN EN ISO 6468:2002; EPA 1625; HRN EN ISO 10695:2002; HRN EN ISO 11369:2003	0,005 - 0,1	0,015 - 0,25	0,3	1
4.	Tetraklormetan (µg/l)	HRN EN ISO 10301:2002; EPA 8260b; Standard Methods(2005)6232 B	0,005 - 0,5	0,01 - 1,5	3,6	12
5.	Trikloretilen (µg/l)	HRN EN ISO 10301:2002; EPA 8260b; Standard Methods(2005)6232 B	0,018 - 0,5	0,05 - 1,5	3	10
6.	Tetrakloretilen (µg/l)	HRN EN ISO 10301:2002; EPA 8260b; Standard Methods(2005)6232 B	0,016 - 0,5	0,01 - 1,5	3	10
7.	Diklormetan (µg/l)	HRN EN ISO 10301:2002; EPA 8260b; Standard Methods(2005)6232 B	0,06 - 3	0,06 - 5	6	20
8.	Benzen (µg/l)	HRN EN ISO 11423-2:1992; EPA 8260b	0,035 - 0,5	0,114 - 2	3	10
9.	Antracen (µg/l)	HRN EN ISO 17993:2008; HRN EN ISO 6468:2002	0,0003 - 0,002	0,001 - 0,023	0,03	0,1
10.	Naftalen (µg/l)	HRN EN ISO 17993:2008; HRN EN ISO 6468:2002; EPA 625	0,002 - 0,01	0,005 - 0,04	0,72	2,4
11.	Fluoranten (µg/l)	HRN EN ISO 17993:2008; HRN EN ISO 6468:2002	0,001 - 0,007	0,005 - 0,01	0,03	0,1
12.	Benzo(a)piren (µg/l)	HRN EN ISO 17993:2008; HRN EN ISO 6468:2002	0,0005 - 0,005	0,005 - 0,01	0,015	0,05
13.	Nonilfenol (µg/l)	EPA 1625	0,03 -0,06	0,09	0,09	0,3
14.	Oktilfenol (µg/l)	EPA 1625	0,01	0,03	0,03	0,1
15.	Pentaklorfenol (µg/l)	EPA 1625; HRN EN ISO 6468:2002; IAEA-Monaco:1995;	0,005 - 0,05	0,015 - 0,1	0,12	0,4

* Za kadmij i spojeve kadmija vrijednosti PGK SKVO variraju ovisno o tvrdoći vode specificiranoj u pet klasa

Tablica 1: Pokazatelji čije LOQ kod svih promatranih laboratorija u skladu sa minimalnim tehničkim zahtjevima (≤30% od PGK SKVO)

Također, za četiri pokazatelja je utvrđeno da granice kvantifikacije niti jednog promatranog laboratorija nisu udovoljile traženom minimalnom zahtjevu, pa se tako i rezultati analiza neće pouzdano moći koristiti u ocjeni kemijskog stanja.

Red. br.	Pokazatelji	Oznaka norme	Granica detekcije (LOD)	Granica kvantifikacije (LOQ)	minimalna LOQ = 30% PGK SKVO	PGK SKVO za površinske vode
1.	Heksaklorbenzen (µg/l)	HRN EN ISO 6468:2002; EPA 508.1; EPA 608:1982; IAEA-Monaco:1995;	0,0019 - 0,05	0,006 - 0,03	0,003	0,01
2.	Diuron (µg/l)	HRN EN ISO 6468:2002	0,01	0,3	0,06	0,2
3.	Izoproturon (µg/l)	HRN EN ISO 6468:2002	0,01	0,3	0,09	0,3
4.	1,2,3-triklorbenzen (µg/l)	HRN EN ISO 11423-2:1997; EPA 8260b	0,035 - 0,5	0,114 - 1,5	0,12	0,4

Tablica 2: Pokazatelji čije LOQ kod svih promatranih laboratorija nisu u skladu sa minimalnim tehničkim zahtjevima (≤30% od PGK SKVO)

U slučaju preostala 23 pokazatelja prioritetnih tvari i prioritetnih opasnih tvari, utvrđeno je da dio laboratorija može postići LOQ u traženom području vrijednosti standarda kakvoće vodnog okoliša, a dio laboratorija još uvijek to ne može ispuniti. Također, za pet pokazatelja (trifluralin, pentabromdifenileter, tributilkositrovi spojevi, DEHP i C_{10-13} kloralkani) i dalje nema mogućnosti analize niti u jednom od laboratorija uključenih u sustavni monitoring. Ova činjenica i ne čudi obzirom da i na nivou Europske unije za pentabromdifenileter i C_{10-13} kloralkane nema standardizirane metode za rutinska ispitivanja površinskih voda (EC, 2009).

ZAKLJUČAK

Zbog ograničenja u postojećem programu praćenja površinskih voda i analitičkim mogućnostima laboratorija koji za potrebe Hrvatskih voda, uz Glavni vodnogospodarski laboratorij, obavljaju ispitivanja kakvoće voda, kemijsko stanje voda na nekim vodnim tijelima procijenjeno je interpolacijom, te je potrebna dodatna provjera ovako utvrđenog stanja.

Analitički postupci kojima se ispituje prisustvo i koncentracija ovih tvari u vodenom okolišu tehnički su vrlo zahtjevni i skupi, što predstavlja značajan stručni i financijski napor za laboratorije koji ih planiraju primjenjivati. Međutim, mjere koje bi trebale biti poduzete na temelju nedovoljno pouzdane ocjene stanja voda povezane su sa još većim financijskim sredstvima i investicijama.

Imajući na umu činjenicu da lista prioritetnih i prioritetnih opasnih tvari nije konačna, već će se nadopunjavati na nivou Europske unije kao i na nivou pojedine države članice, pojavit će se i potreba uvođenja novih analitičkih metoda u rutinska ispitivanja kakvoće voda. Stoga, uspostavljeni sustav nadzora kakvoće voda mora biti fleksibilan i brzo reagirati na novonastale zahtjeve.

LITERATURA

[1] EC (2003): CIS Guidance Document No 7: Monitoring under the Water Framework Directive, Produced by Working Group 2.7 - Monitoring, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

[2] EC (2009): CIS Guidance Document No19: Guidance on Surface Water Chemical Monitoring under the Water Framework Directive, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

[3] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo (2002): Okvirna Direktiva o vodama Europske unije, Vodnogospodarska osnova Hrvatske, izdanja II, Zagreb

[4] Hrvatske vode (2009): Plan praćenja stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2009. godini

[5] Hrvatske vode (2010): Plan praćenja stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2010. godini

[6] Hrvatske vode (2010): Plan upravljanja vodnim područjima – Nacrt, Zagreb

[7] Uredba o standardu kakvoće voda (2010): NN 89/2010.

[8] Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja voda (2011): NN 20/2011

AUTORI

mr. sc. Neven Bujas, dipl. ing. kem. teh. [a]
Jasmina Antolić, dipl. ing. preh. teh. [b]
Đorđa Medić, dipl. inž. kem. [c]

[a] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij – Odsjek za srednji Jadran, Šibenik, nbujas@voda.hr

[b] Hrvatske vode, Sektor zaštite voda, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, jasmina.antolic@voda.hr

[c] Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, dmedic@voda.hr

R 1.30.

ZNANSTVENO-ISTRAŽIVAČKI PROJEKTI – PODLOGE ZA DOPUNU UREDBE O STANDARDU KAKVOĆE VODA (NN 89/10)

Dagmar Šurmanović, Marija Marijanović Rajčić, Siniša Širac, Zlatko Mihaljević, Grozdan Kušpilić

SAŽETAK: Prema Zakonu o vodama (Narodne novine, 2009), stanje površinskih voda definira se temeljem dva kriterija – ekološkog stanja i kemijskog stanja, ovisno od toga koje je lošije. Pod dobrim stanjem za podzemne vode, podrazumijeva se dobro kemijsko i količinsko stanje. Ekološko stanje određuje se temeljem monitoringa bioloških, hidromorfoloških i osnovnih fizikalno-kemijskih elementa kakvoće. Prema članku 41. Zakona o vodama, propisom o standardu kakvoće voda utvrđuje se stanje svih voda (rijeka, jezera, prijelaznih i priobalnih, kao i podzemnih voda), te je u srpnju 2010. godine u Narodnim novinama broj 89 objavljena Uredba o standardu kakvoće voda.

U Uredbi se prvi puta pri ocjenjivanju stanja površinskih voda uvodi tip-specifični pristup. Međutim, razvoj metodologije tip-specifične klasifikacije bioloških, te pratećih osnovnih fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće u površinskim vodama predstavlja vrlo zahtjevan znanstveni rad za koji je potreban tim stručnjaka, specijalista za pojedine biološke elemente kakvoće i odgovarajuće razdoblje za njegovu uspostavu. Znanstveno-istraživački projekti, koje su Hrvatske vode inicirale, s ciljem razvoja metodologija ocjene ekološkog stanja voda i koji trebaju biti podloga za definiranje nacionalnog sustava ocjenjivanja ekološkog stanja voda, bili su u fazi izrade u vrijeme pripreme i objave Uredbe. Iz tog razloga je u Uredbi, u njezinim prijelaznim odredbama, samo djelomično definiran klasifikacijski sustav za neke elemente kakvoće.

U radu će biti prikazani preliminarni rezultati studija koje su izradile znanstvene institucije: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet-Biološki odsjek za kopnene vode, te Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split i Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj, za prijelazne i priobalne vode. Prijedlozi sustava klasifikacije za pojedine elemente kakvoće iz studija predstavljat će podlogu za dopunu Uredbe o standardu kakvoće voda u dijelu koji se odnosi na ocjenjivanje ekološkog stanja voda.

KLJUČNE RIJEČI: Zakon o vodama, Uredba o standardu kakvoće voda, klasifikacija ekološkog stanja

SCIENTIFIC RESEARCH PROJECTS – SUPPORTING DOCUMENTS FOR AMENDMENTS TO THE REGULATION ON WATER QUALITY STANDARD (OG 89/10)

SUMMARY: Pursuant to the Water Act (Official Gazette, 2009.), surface water status is defined on the basis of two criteria – ecological status and chemical status, depending on which one is worse. Good groundwater status means both good chemical status and good quantity status. Ecological status is determined on the basis of monitoring of biological, hydromorphological and basic physico-chemical quality elements. According to Article 41 of the Water Act, a regulation on water quality standard shall determine the status of all waters (rivers, lakes, transitional and coastal waters and groundwater), thus in July 2010 the Regulation on water quality standard was published in the Official Gazette No. 89.

The Regulation introduces type-specific approach to assessment of surface water status for the first time. However, development of a methodology for type-specific classification of biological and accompanying basic physico-chemical and hydromorphological quality elements in surface waters presents a very challenging scientific task, for which it is necessary to establish a team of experts specializing in individual biological quality elements and a suitable time period for its establishment. Scientific research projects which were initiated by Croatian Waters with the goal of developing methodologies for ecological status assessment and serving as supporting materials for definition of a national assessment system for ecological status were already in development at the time when the Regulation was prepared and published. For this reason, a classification system for some quality elements was only partially defined in its transitional provisions.

The paper will present the preliminary results of studies conducted by scientific institutions: University of Zagreb, Faculty of Science,Division of Biology for rivers and lakes as well as the Institute of Oceanography and Fisheries in Split and the Ruđer Bošković Institute's Centre for Marine Research in Rovinj for transitional and coastal waters. Proposals given in the studies for a classification system for individual quality elements will form the basis for amendments to the Regulation on water quality standard in the segment related to ecological status assessment.

KEY WORDS: Water Act, Regulation on water quality standard, classification of ecological status

1. UVOD

U prosincu 2009. godine objavljen je novi Zakon o vodama u Narodnim novinama (NN) broj 153, u kojem je, u dijelu koji se odnosi na zaštitu voda, uglavnom transponirana Okvirna direktiva o vodama Europske unije (ODV EU) (Water Framework Directive EU, 2000) kao i zahtjev za uspostavom monitoringa stanja svih voda i zaštićenih područja, te poduzimanjem odgovarajućih mjera tamo gdje stanje voda ne zadovoljava propisane kriterije.

Da bi se razvio sustav ocjene ekološkog stanja voda, potrebno je odrediti tipove površinskih voda: rijeka, jezera, prijelaznih i priobalnih voda. Glavna svrha tipizacije voda je definiranje referentnih uvjeta specifičnih za određene tipove površinskih voda i predstavlja temelj klasifikacije ekološkog stanja voda. Odstupanje opaženih vrijednosti

biološke kakvoće od referentnih vrijednosti, daje uvid u ekološko stanje voda. Ekološko stanje određuje se temeljem monitoringa bioloških, hidromorfoloških i osnovnih fizikalno-kemijskih elementa kakvoće.

Kako su za klasifikaciju ekološkog stanja voda bitni biološki elementi kakvoće (BEK), a iz postojećeg nacionalnog programa monitoringa nisu bili dostatni, bilo je potrebno postupno kroz znanstveno-istraživačke projekte doći do potpunijih saznanja o sastavu i brojnosti biljnih i životinjskih vrsta, indikatora stanja površinskih voda. Iz tog su razloga, u razdoblju od 2002. do 2008. godine Hrvatske vode pokrenule nekoliko istraživačkih projekata, od kojih su dva posljednja još u fazi izrade. Projekte, koji se odnose na karakterizaciju tipova i uspostavu sustava klasifikacije bioloških elemenata kakvoće u rijekama i jezerima, izradio je i još izrađuje Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (PMF) Sveučilišta u Zagrebu, a projekte koji se odnose na prijelazne i priobalne vode izrađuju oceanografske institucije, Institut za oceanografiju i ribarstvo (IOR) – Split, Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora (CIM), Rovinj.

Projekti koji se odnose na kopnene površinske vode, prvenstveno su uključivali tipizaciju rijeka i jezera (abiotičku i biotičku), te razvoj metodologije određivanja tip-specifičnih granica klasa i ocjenjivanja ekološkog stanja voda, kako za svaki biološki element kakvoće zasebno (ribe, makrozobentos, makrofita, fitoplankton i fitobentos), tako i za ukupnu ocjenu biološkog stanja svih istraživanih zajednica na određenoj mjernoj postaji. Od 2006. godine PMF provodi ekološka istraživanja na rijekama i jezerima s ciljem prikupljanja dovoljnog broja podataka o referentnim zajednicama, kako bi se abiotički tipovi voda grupirali u tipove zajedničkih bioloških karakteristika. U radu na nacionalnom sustavu klasifikacije bioloških elemenata za ocjenu ekološkog stanja u okviru znanstveno-istraživačkog projekta: „Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije“ (Mihaljević i suradnici, prvi nacrt, 2011), PMF, osim na temelju postojećih i prikupljenih podataka i velikog znanstvenog iskustva, surađuje i s inozemnim znanstvenim institucijama, kako bi nacionalna metodologija bila usporediva s metodologijama koje već koriste zemlje EU-a. Dovršetak studije se očekuje sredinom 2011. godine.

Tijekom razdoblja 2005/2007. godina izrađene su studije koje predstavljaju podloge potrebne za karakterizaciju tipova voda i referentnih uvjeta u prijelaznim i priobalnim vodama. U projektu započetom 2008. godine: „Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa i provedba monitoringa stanja voda u prijelaznim i priobalnim vodama Jadranskog mora prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (2000/60/EC)“ (Kušpilić i suradnici, prvi nacrt, 2011), uz usklađivanje s novim spoznajama tipizacije prijelaznih i priobalnih voda i tip-specifičnih referentnih bioloških i fizikalno-kemijskih uvjeta, izrađena je i analiza pritisaka i utjecaja na Jadranskom vodnom području. Projekt je, uz definiranje granica klasa za reprezentativne biološke elemente kakvoće i osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje, obuhvatio i izradu programa, te provedbu nadzornog monitoringa tijekom 2009. i 2010. godine. Monitoringom provedenim u prijelaznim i priobalnim vodama bili su obuhvaćeni svi biološki (fitoplankton, *Posidonia oceanica*, makroalge i makrozoobentos, a ribe samo u prijelaznim vodama) i fizikalno-kemijski elementi potrebni za određivanje ekološkog stanja. Provedeno istraživanje obuhvatilo je i određivanje strukture morskog dna, u svrhu provjere prethodno predložene tipizacije. Također, proveden je i monitoring kemijskog stanja koji je obuhvatio sve prioritetne tvari,

koje zahtijeva nacionalna i europska legislativa. Rezultati provedenog monitoringa još su u fazi analize, a rok dovršetka studije je sredina 2011. godine.

2. SUSTAV KLASIFIKACIJE EKOLOŠKOG STANJA VODA U HRVATSKOJ

U siječnju 2011. godine stupila je na snagu Uredba o standardu kakvoće voda (u daljnjem tekstu Uredba), (Narodne novine, 2010), u kojoj je dan samo okvir unutar kojeg će se uspostaviti sustav klasifikacije ekološkog stanja površinskih voda, jer projekti koji su trebali biti temelj sustava tada još nisu bili završeni. Stoga u Uredbi stoji da će je ministar nadležan za vodno gospodarstvo nadopuniti podacima, između ostalih i tablice iz Priloga 2. (Standardi kakvoće voda za ocjenu ekološkog stanja), kao i revidirati podatke iz Priloga 9. koji se nalaze u prijelaznim odredbama (Prilog 9A. Karta „ekotipova" tekućica i Prilog 9B. Standardi kakvoće voda za ocjenu ekološkog stanja za vodotoke – indeks saprobnosti temeljem makrozoobentosa i osnovni-fizikalno kemijski pokazatelji za rijeke i jezera), najkasnije u roku od 2 godine od dana stupanja na snagu Uredbe. Granice klasa kakvoće za reprezentativne indekse za biološke elemente kakvoće temeljem kojih se ocjenjuje ekološko stanje za prijelazne i priobalne, Uredba nije definirala. Po završetku znanstveno-istraživačkih projekata, kako za slatke tako i za prijelazne i priobalne vode, Hrvatske vode započet će rad na prijedlogu prednacrta dopuna i izmjena Uredbe, kojim će se popuniti klasifikacijski sustavi ekološkog stanja površinskih voda. Važno je istaknuti da je suradnja Hrvatskih voda sa znanstvenim institucijama u procesu razvoja metodologija ocjene ekološkog stanja voda sukladna praksi većine zemalja EU-e.

U radu su djelomično prikazani preliminarni rezultati studija koji se odnose na uspostavu sustava ocjene ekološkog stanja rijeka, prijelaznih i priobalnih voda, dok za jezera još nije prikupljeno dovoljno podataka temeljem kojih bi se moglo znanstvenim metodama odrediti granice klasa tip-specifičnih pokazatelja bioloških, fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elementa kakvoće.

2.1. Preliminarna klasifikacija ekološkog stanja prema biološkim elementima kakvoće za rijeke

Prvi korak je bio utvrditi u kojoj mjeri se raspored i struktura biote može pridružiti abiotičkoj tipizaciji hrvatske hidrografske mreže, definirane temeljem obveznih i izbornih fizioografskih deskriptora sustava B (Habdija i suradnici, 2008). Osnovna postavka ekologije tekućica je povezanost njihovog prostornog rasporeda i položaja s morfološkim i fizioografskim obilježjima reljefa. Polazeći od iskustva članica EU, biotička tipizacija se prije svega bazira na zajednici makrozoobentosa, kojom se dobiva najveći broj „ekotipova", dok se preostali biološki elementi kakvoće koje zahtjeva ODV EU naknadno uklapaju u prethodno određenu tipologiju. Tijekom provedbe istraživanja autori studije su temeljem postignutih rezultata, uz obvezne i izborne deskriptore sustava B, izabrane za definiranje abiotičke tipologije, koristili i granulometrijski sastav čestica supstrata, jer je od iznimne važnosti za opstojnost i različitost biote u tekućicama. Budući da je granulometrijski sastav supstrata u posljedično-uzročnom odnosu s nagibom korita, navedeni čimbenici uzeti su u obzir kao izborni deskriptori prilikom definiranja biotičke tipologije. Prilikom definiranja biotičke tipologije limnografski prostor Republike Hrvatske podi-

jeljen je temeljem makrozoobentosa u četiri limnološke regije: Panonsku, Dinaridsku kontinentalnu, Dinaridsku primorsku i Istarsku. Primjenom navedenih kriterija određeno je ukupno 19 tipova i 15 podtipova tekućica, odnosno tip-specifičnih zajednica makrozoobentosa. U narednom koraku, u definiranu biotičku tipologiju s tip-specifičnom podjelom uklopljene su i zajednice fitobentosa i makrofita.

Za svaki tip tekućice, za razvoj tip specifičnog klasifikacijskog sustava, trebalo je odrediti njegovo referentno stanje, za svaki biološki element kakvoće, s kvantitativnog i kvalitativnog aspekta, što zahtijeva složen znanstveni pristup. U definiranju referentnog stanja korišteni su podaci s mjernih mjesta koja su procijenjena kao mjesta bez ili s vrlo malo antropogenog utjecaja uz ekspertne procjene, jer je povijesnih podataka o sastavu zajednica slatkih voda vrlo malo. Za određene biotičke tipove, poput velikih graničnih i prekograničnih rijeka (Drava, Sava, Dunav), korištena su iskustva i podaci susjednih zemalja koje s Hrvatskom dijele spomenute tekućice.

Po određivanju tip-specifičnih referentnih vrijednosti za svaki biološki element kakvoće, odnosno za svaki preliminarno izabrani indeks, određene su granice klasa, a pojedinačna vrijednost svakog indeksa prikazana je i kao omjer ekološke kakvoće s graničnim vrijednostima za vrlo dobro, dobro, umjereno dobro, slabo i loše. Omjer ekološke kakvoće, koji se računa dijeljenjem opažene biološke vrijednosti s referentnom vrijednošću određuje se za svaki biološki element kakvoće posebno. U ocjenjivanje biološke kakvoće voda uveden je multimetrijski pristup, koji omogućuje sagledavanje utjecaja različitih pritisaka na stanje voda, jer su pojedine skupine vodenih organizama, odnosno pojedini indeksi bolji pokazatelji određenog pritiska od drugih. Autori studije su za svaki od preliminarno izabranih bioloških indeksa odredili tip-specifične granice klasa za svih pet klasa kakvoće. U tablici 1. je prikazan preliminarni popis indeksa, uz njihove značajke, te koliko su dobri pokazatelji određenog pritiska ili onečišćenja voda. Kako je studija u izradi, u ovom radu nisu prikazane granične vrijednosti za definirane pokazatelje.

BEK MAKROZOOBENTOS			
PRELIMINARNI IZBOR INDEKSA	**ZNAČAJKE INDEKSA**	**VRSTA PRITISKA**	
		ORGANSKO ONEČIŠĆENJE	**OPĆA DEGRADACIJA**
Ukupan broj svojti , broj porodica i broj svojti EPT	- bogatstvo ili raznolikost svojti ukazuje na promjene u raznolikosti staništa - svojte predstavnika skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera su osjetljive na smanjenje količine kisika, smanjenje brzine strujanja vode i gubitak staništa	+++	++
Udio predstavnika EPT skupina (%)	- smanjenje udjela EPT svojti ukazuje na smanjenja produktivnosti zajednice uslijed taloženja finog supstrata	++	+++
Udio Oligochaeta (%)	- udio oligoheta ukazuje na količinu sitnih organskih čestica u staništu	++	+++
Udio oligosaprobnih indikatora (%)	- u vodama dobre kakvoće značajan udio imaju vrste indikatori nižeg stupnja onečišćenja (oligosaprobni indikatori), dok porastom onečišćenja raste i udio indikatora višeg stupnja onečišćenja	+++	+
Indeks saprobnosti (IS-HRIS)	- temelji se na relativnoj zastupljenosti saprobnih indikatora (oligosaprobni do polisaprobni) - niske vrijednosti indeksa ukazuju na dobru kakvoću vode	+++	+
BMWP indeks (Biological Monitoring Working Party)	- temelji se na osjetljivost pojedinih porodica prema onečišćenju - visoke vrijednosti indeksa ukazuju na dobru kakvoću vode, tj. dominaciju osjetljivih svojti	+++	+
Proširenibiotički indeks (PBI)	- temelji se na prisutnosti predstavnika pojedinih skupina beskralješnjaka različite osjetljivosti na onečišćenje, i na temelju broja svojti u uzorku	+++	+
Indeks raznolikosti (Shannon-Wiener)	- mjera strukture zajednice, temelji se na brojnosti i ujednačenosti vrsta - niže vrijednosti ukazuju na djelovanja različitih pritisaka	++	+++
Ritron tip indeks	- zbirni pokazatelj, čija vrijednost ukazuje na udio svojti koje preferiraju područje ritrona - više vrijednosti indeksa ukazuju na veći udio svojti gornjih, brzih dijelova tekućica, dok niže vrijednosti na nizinske odsjeke tekućica ili na odsjeke s hidro morfološkim promjenama	+	+++
Udio svojti koje preferiraju tip supstrata Akal+Lital+Psammal (%)	- više vrijednosti ukazuju na dominaciju šljunkovitog i kamenitog supstrata koji pogoduje predstavnicima skupina koje ukazuju na bolju kakvoću vode, poput predstavnika EPT skupina	+	+++
Udio pobirača sakupljača (%)	- sakupljači pobirači su brojniji u područjima s puno sitnih organskih čestica, koje mogu biti posljedica onečišćenja, ali i smanjene brzine vode kao posljedice hidromorfoloških promjena	+	+++
Indeks biocenotičkog područja	- skupni pokazatelj preferiranja vrsta pojedinih zona tekućica – krenala, ritrala, potamala, litorala ili profundala - niže vrijednosti indeksa ukazuju na veći udio vrsta koje preferiraju krenal i ritral, a više vrijednosti indeksa ukazuju na dominaciju indiferentnih vrsta ili vrsta koje preferiraju donje tokove i područja sa sporijim tokom - potamal.	+	+++
BEK MIKROFITOBENTOS			
PRELIMINARNI IZBOR INDEKSA / METRIKA	**ZNAČAJKE INDEKSA**	**VRSTA PRITISKA**	
		ORGANSKO ONEČIŠĆENJE	**OPTEREĆENJE HRANJIVIM TVARIMA**
IPS/SPI indeks (Indeks osjetljivosti na onečišćenje)	- u korelaciji s pokazateljima organskog onečišćenja, ionske snage i eutrofikacije te daje kompleksnu procjenu kakvoće vode - vrijednosti se kreću u rasponu od 0 (najgore) do 10 (najbolje) kakvoće vode	++	+++
TID_{Hr} (Trofički Indeks Dijatomeja)	- multimetrijski indeks - trofičnost, na temelju zastupljenosti dijatomeja	+	+++
S_{HRIS} - Indeks organskog opterećenja (saprobnost)	- multimetrijski indeks koji ukazuje na količinu hranjivih tvari u vodotoku, a izveden je na temelju Hrvatskog indikatorskog sustava (HRIS)	++	+++
NED - nedijatomejski indeks	- informacije o prisutnosti i postotnoj zastupljenosti skupina Cyanobacteria i Chlorophyta	+	+++
BEK MAKROFITA			
PRELIMINARNI IZBOR INDEKSA / METRIKA	**ZNAČAJKE INDEKSA**	**VRSTA PRITISKA**	
		ONEČIŠĆENJE HRANJIVIM TVARIMA	**OPĆA DEGRADACIJA**
Ukupna pokrovnost	- ukazuje na hidromorfološke ili kemijske promjene u vodotoku - vodotok može biti prirodno bez vegetacije (potpuna zasjena) - izražava se u postotcima	++	+++
Vrste prema referentnim zajednicama	- zajednice s referentnim vrstama - izražava se kao relativna dominantnost u usporedbi s pojedinačnim učestalostima	+	+++
Eutrofikacija - vrste pokazatelji poremećaja	- izražava se kao omjer suma učestalosti pokazatelja eutrofikacije i ukupne učestalosti svih akvatičkih vrsta i kao broj morfoloških oblika	+++	+
Potamalizacija - umjetno usporenje toka	- vrste sporijih i mirnih voda - izražava se kao omjer suma učestalosti pokazatelja potamalizacije i ukupne učestalosti svih akvatičkih vrsta i kao broj morfoloških oblika	+	+++
Ritralizacija - umjetno ubrzanje toka	- vrste koje dolaze u zajednicama bržih voda - izražava se kao omjer suma učestalosti pokazatelja ritralizacije i ukupne učestalost svih akvatičkih vrsta i kao broj morfoloških oblika	+	+++

Legenda: + slab pokazatelj ++ dobar pokazatelj +++vrlo dobar pokazatelj

Tablica 1. Preliminarno izabrani indeksi za ocjenu biološke kakvoće voda u rijekama za elemente kakvoće: makrozoobentos, mikrofitobentos i makrofita

2.2. Preliminarna klasifikacija ekološkog stanja prema biološkim elementima kakvoće za prijelazne i priobalne vode

Prvi korak bilo je određivanje tipova prijelaznih i priobalnih voda. Temeljem obveznih čimbenika: ekoregija, salinitet, raspon plime i oseke, te sastava supstrata kao izbornog čimbenika određeno je 6 tipova prijelaznih voda, dok je u priobalnim vodama određeno 5 tipova na temelju obveznih čimbenika: ekoregije, saliniteta, dubine i sastava supstrata kao izbornog čimbenika.

Pri razradi metodologije definiranja referentnih uvjeta za pokazatelje kakvoće u vodenom stupcu i bentosu vodilo se računa o raspoloživim povijesnim podacima okoliša, regionalnim značajkama, te trofičkom stanju priobalnog mora. Određivanje referentnih vrijednosti za sve biološke elemente kakvoće u većini sredozemnih zemalja je u tijeku, zbog malog broja dostupnih podataka i različitih upotrebljavanih metoda. Određeni referentni uvjeti za prijelazne i priobalne vode u Hrvatskoj (Kušpilić i drugi, prvi nacrt, 2011), smatraju se preliminarnim, a pristizanjem novih i kvalitetnijih podataka, postojeći podaci bit će nadopunjavani. Korištena metodologija određivanja referentnih uvjeta bazira se na upotrebi podataka s referentnih mjesta i ekspertnoj procjeni. Za referentne vrijednosti bioloških elemenata kakvoće korišteni su multimetrijski indeksi. Obzirom da tipizacija nije jedinstvena za sve biološke elemente kakvoće, referentni uvjeti i granice klasa su određeni po pojedinom elementu (fitoplankton, makroalge, morske cvjetnice, makrozoobentos i ribe), uz napomenu da su metode za određivanje klasifikacijskog sustava za većinu nabrojenih bioloških elemenata kakvoće tek u razvoju. To se prvenstveno odnosi na BEK morske cvjetnice (metoda je u fazi testiranja), a metoda ocjenjivanja za makroalge u prijelaznim vodama još nije razvijena (Tablica 2.).

a)

Tip	Naziv tipa	Biološki element kakvoće – indeks				
		Fito	**MA**	**MC**	**BB**	**Ribe**
P1_2	Oligohalini estuarij (0,5 < s < 5) krupnozrnatog sedimenta	ZGK	Za sada ne postoji predložena metoda ocjenjivanja	Metoda „CymoSkew" se testira	NP	ZGK **EFI (Estuarine Fish Index)**
P1_3	Oligohalini estuarij (0,5 < s < 5) sitnozrnatog sedimenta				NP	
P2_2	Mezohalini estuarij (5 < s < 20) krupnozrnatog sedimenta	ZGK			NP	ZGK **EFI (Estuarine Fish Index)**
P2_3	Mezohalini estuarij (5 < s < 20) sitnozrnatog sedimenta				NP	
P3_2	Polihalini estuarij (s>20) krupnozrnatog sedimenta	ZGK			TGK **M-AMBI** (AZTI Marine Biotic Index)	ZGK **EFI (Estuarine Fish Index)**
P3_3	Polihalini estuarij (s>20) sitnozrnatog sedimenta				TGK **M-AMBI** (AZTI Marine Biotic Index)	

b)

Tip	Naziv tipa	Biološki element kakvoće - indeks				
		Fito	MA	MC (PO)	BB	Ribe
O313	Polihalino (s < 35 PSU) plitko priobalno more (z < 40m) sitnozrnatog sedimenta	TGK	ZGK **EEI** (Ecological Evaluation Index) i **CARLIT** (cartography of littoral and upper-sublittoral rocky communities	ZGK **POMI** (*Posidonia oceanica* Multivariate indeks)	NP	Nije relevantan element kakvoće za priobalne vode
O412	Euhalino (s > 35 PSU) plitko priobalno more (z < 40m) krupnozrnatog sedimenta	ZGK			TGK **M-AMBI** (AZTI Marine Biotic Index)	
O413	Euhalino (s > 35 PSU) plitko priobalno more (z < 40m) sitnozrnatog sedimenta				TGK **M-AMBI** (AZTI Marine Biotic Index)	
O422	Euhalino (s > 35 PSU) priobalno more (z > 40m) krupnozrnatog sedimenta	ZGK			TGK **M-AMBI** (AZTI Marine Biotic Index)	
O423	Euhalino (s > 35 PSU) priobalno more (z > 40m) sitnozrnatog sedimenta				TGK **M-AMBI** (AZTI Marine Biotic Index)	

Fito - Fitoplankton (uključujući klorofil a i fiz.-kem. pokazatelje)
MA – Makroalge
MC – Morske cvjetnice
MC (PO) – Morske cvjetnice (Posidonia oceanica)
BB – Bentoski beskralješnjaci

ZGK – Zajednička granica klasa
TGK – Tip-specifična granica klasa
NP - Zbog nedostatka podataka granice klasa do sada nisu određena

Tablica 2. Tip-specifični biološki elementi kakvoće za prijelazne vode (a) i priobalne vode (b) s reprezentativnim indeksima

Indeksi koji su predloženi za ekološku evaluaciju prijelaznih i priobalnih voda su multimetrijski indeksi koji u sebi sadržavaju informaciju o stanju ekosustava koja se temelji na različitim stupnjevima osjetljivosti pojedinih zajednica makroalgi, morskih cvjetnica, bentoskih beskralješnjaka ili riba prema određenom onečišćenju.

ZAKLJUČAK

- Rezultati studija: „Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije“ i „Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa i provedba monitoringa stanja voda u prijelaznim i priobalnim vodama Jadranskog mora prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (2000/60/EC)“, predstavljat će podlogu za izradu prijedloga prednacrta dopuna i izmjena Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, 2010).
- Prijedlozi klasifikacijskih sustava iz navedenih studija predstavljaju prve sustave za kompleksnu ocjenu ekološkog stanja i za pretpostaviti je da će njihovom primjenom biti uočeni i određeni problemi, za rješavanje kojih će trebati pokrenuti nove istraživačke cikluse.
- Hrvatska u ovom trenutku ne raspolaže s dovoljno velikim fondom iskoristivih bioloških podataka, stoga su u ovoj fazi razvoja sustava klasifikacije ekološkog stanja u određenoj mjeri korištena i iskustva zemalja sa sličnim tipovima voda uz prilagodbu našim uvjetima i ekspertnu procjenu.

- Suradnja Hrvatskih voda, institucije odgovorne za upravljanje vodama, sa znanstvenim institucijama, kroz znanstveno-istraživačke projekte razvoja metodologija ocjene stanja voda, sukladna je praksi većine zemalja članica EU-e.
-

LITERATURA

[1] Habdija, I. i suradnici (2008): Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u Hrvatskoj prema kriterijima Okvirne direktive o vodama EU, Studija, Sveučilište u Zagrfebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.

[2] Kušpilić, G. i suradnici (prvi nacrt, 2011): Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa i provedba monitoringa stanja voda u prijelaznim i priobalnim vodama Jadranskog mora prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (2000/60/EC), Studija, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

[3] Mihaljević, Z. i suradnici (prvi nacrt, 2011): Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije, Studija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.

[4] Narodne novine (2010): Uredba o standardu kakvoće voda. Br. 89

[5] Narodne novine (2009): Zakon o vodama. Br. 153

[6] Water Framework Directive EU (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities, L. 327, Luxembourg.

AUTORI

mr.sc. Dagmar Šurmanović[1]
mr.sc. Marija Marijanović Rajčić[2]
dr.sc. Siniša Širac[3]
prof.dr.sc. Zlatko Mihaljević[4]
dr.sc. Grozdan Kušpilić[5]

[1] Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, *dagmar.surmanovic@voda.hr*

[2] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, *marija.marijanovic@voda.hr*

[3] Hrvatske vode, Ured generalnog direktora, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, *sinisa.sirac@voda.hr*

[4] Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, *zmihalj@biol.pmf.hr*

[5] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šetalište Ivana Meštrović 63, 21000 Split, *kuspe@izor.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.31.

AIRBORNE HYDROMAPPINGAND HYDRO^{CONNECT} SHALLOW WATER BATHYMETRY - PIONEERING UNDERWATER INSIGHTS

Frank Steinbacher, Robert Klar, Markus Aufleger

SUMMARY: Reservoir sedimentation or river degradation, water flow and water level dynamics, structure and zone variations of rivers, riparian areas or estuariesor the relationships between abiotic physical parameters and biotic responses – in order to measure, to evaluate and to study all these subjects, the continuous or at least repetitive monitoring of waterbodies is essential. A regular, repeated monitoring as a fixed constant for surveillance, operation, investigation and reference is needed. Bathymetric measurements are the basis for every close to reality study and task. Conventional methods like mechanical or sonic systems require major labour input, time and costs. Based on the ambitious aims of the European Water Framework Directive (WFD) a multi-disciplinary research and the implementing of a comprehensive waterbody management started. Therefore hydrological, hydrodynamic, morphological, ecological and socio-economic processes need to cross work to reach the efforts of the extensive management plans in Europe, especially regarding the contemporary objectives and the monitoring demands. With the intention to provide a spatial surveying of shallow water areas (river, standing water, coastal areas) the technique of laser ranging and LIDAR (LIght Detection And Ranging) has been adopted, further explored and extended to aspects of full-waveform analysis to meet the present and future demands of area-wide shallow water survey (airborne hydromapping). Additionally it was transferred on a new research concept to cover the main fields of impact of our water bodies (Hydro^{Connect}).

KEY WORDS: Bathymetry, Airborne Laser Altimetry, Shallow Water Areas, Full Waveform Analysis, Hydromorphology, Hydraulic, Ecology and Climate Change

SATELITSKO KARTIRANJE VODNIH POVRŠINA I HYDRO^{CONNECT} BATIMETRIJA PLITKIH VODA – PIONIRSKE PODVODNE SPOZNAJE

SAŽETAK: Taloženje u akumulaciji i riječna degradacija, vodni protok i dinamika vodostaja, varijacije riječnih struktura i zona, obalna područja i estuariji ili odnosi između abiotičkih fizičkih pokazatelja i biotičkih reakcija – radi izmjere, ocijene i proučavanja ove problematike od vitalne je važnosti stalno ili barem ponavljano praćenje vodnih tijela. Redovno, ponavljano praćenje kao fiksna konstanta nadzornog, operativnog, istraživač-

kog i referentnog praćenja je nužnost. Batimetrička mjerenja osnova su svih stvarnosti bliskih studija i zadataka. Konvencionalne metode poput mehaničkih ili sonarnih sustava zahtijevaju mnogo truda, vremena i novca. Na osnovi ambicioznih ciljeva EU Okvirne direktive o vodama (ODV) započelo je multidisciplinarno istraživanje i provođenje sveobuhvatnog upravljanja vodnim tijelima. Iz toga je razloga potrebno da se hidrološki, hidrodinamički, morfološki i socioekonomski procesi integriraju u cilju realizacije opsežnih planova upravljanja u Europi, naročito postojećih ciljeva i zahtjeva praćenja. U svrhu osiguranja prostornog snimanja plitkih vodnih područja (rijeka, stajaćica, obalnih područja) usvojena je tehnika laserskog snimanja i LIDAR (LIght Detection And Ranging), te je dodatno istražena i proširena na aspekte analize cijelih valnih oblika kako bi se ispunili sadašnji i budući zahtjevi snimanja plitkih vodnih površina na cijelom području (satelitsko kartiranje vodnih površina). Nadalje, ovo je preneseno na novi istraživački koncept kojim bi se obuhvatila glavna područja utjecaja vodnih tijela (Hydro^{Connect}).

KLJUČNE RIJEČI: batimetrija, satelitska laserska altimetrija, područja plitkih voda, analiza cijelih valnih oblika, hidromorfologija, ekologija i promjena klime

1. MOTIVATION

Water is fundamentally interdisciplinary in nature as it places mankind at the heart of any management objective. To protect and enhance the quality of aquatic ecosystems or to state the problems of flood protection in a simple way shows that ambitious programmes are needed to guarantee the key requirements of human next to environmental aspects. A multi-disciplinary research covering hydraulic, hydromorphological, ecological and climate change relevant expertise is needed. This means that an implementation of programmes predicated on understanding the complex interactions between hydromorphological, physico-chemical, biological and human factors expressed in terms of water bodies' ecological status is needed. Therefore a major commitment must be given in developing new monitoring standards and a much better understanding of the biophysical linkages between anthropogenic pressures and their ecological response.This is seen as a precondition to the development of cost-effective and sustainable remediation of damaged ecosystems and to future-proof the likely adverse impacts associated with climate change which will impact water bodies in different regions in a myriad of ways. The role and impacts of spatial structuring, variability and scaling effects is evidenced and further focused on realising the potential of the technique of laser ranging by airborne hydromapping. Technical developments within the last two-and-a-half years were set-up to deliver a better understanding for eco-hydro-morphological processes by a high resolution airborne bathymetric LIDAR survey technology and the detection of new indicators and the deliverance of advanced or new methods, combined with models, tools, software and services. The work at the University of Innsbruck is focused on the investigation and critically evaluation of the airborne hydromapping technology, on modelling and on decision-support tools which must be robust, uncertainty-inclusive, and offer the scope for standardisation.

2. THE HYDRO^{CONNECT} CONCEPT

Faced with administrative problems additionally to the lack of financial and technical capacity, new tools are required to attain a sustainable handling of our waterbodies in a timely and cost effective manner. Next to the technical opportunities by airborne hydromapping, a trans-national cooperation is needed to guarantee a simultaneous and lasting protection of our waterbodies. Often different regions have to face similar challenges and will profit from experiences in other countries. Therefore next to the challenge of developing a bathymetric laser scanning system for shallow water areas a synergizing research, knowledge and outcome of hydro-morphologic and ecologic objectives by characterization on fields of impact (hydraulic, hydro-morphology, ecology & climate change) and their relation to specific water body types is needed and started within a integrative research concept called Hydro^{Connect}. The scientific progress is focused on the modules of data exploration and the water bodies river, standing water and coastal area.

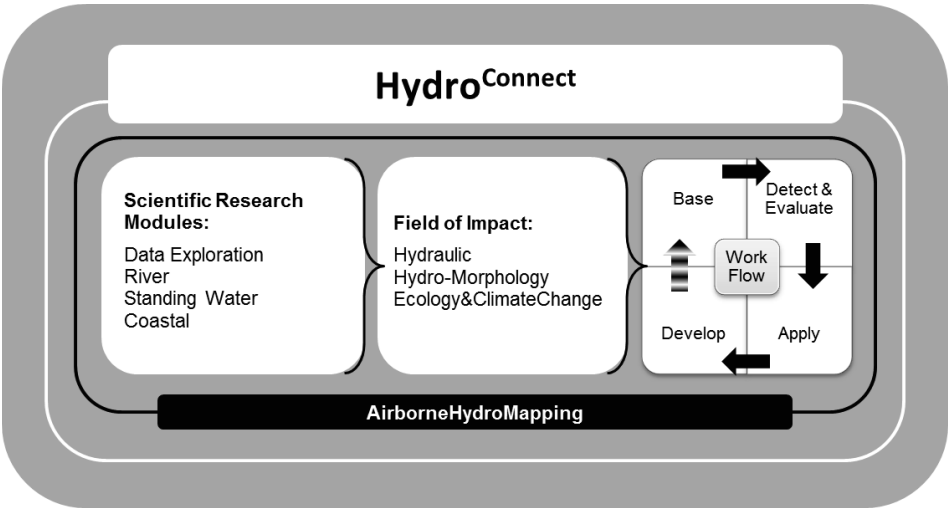


Figure 1: HydroConnect concept; Research modules and their investigated fields of impact. A mandatory workflow process is given for all tasks within the program (right side).

The module data exploration takes advantage of the new hydromapping system. By its optical layout it covers more information within one laser shot respectively laser scan. First, the density of information is very high. In dependence of the operating conditions measuring points every 5-10cm can be collected. Next to its geo-referenced coordinates, the laser shot itself carries an information within the waveform (full waveform analysis). Full waveform laser scanners record the backscattered optical power as a function of time and can be analysed. Optimizations made it able to segregate the recorded signal even at a minimum of water depth (about 10cm). Further information's, included by signal form have to be analysed for each field of impact. In dependence of their relevance the focus within the project is at the moment on turbidity aspects, soil type aspects, roughness information, high resolution for vegetation and hydrophyte plants capturing and turbulence and water surface indicators.

Algorithms and classification procedures have to be found or adapted to deliver standard analysing tools. Subsequent numerical modelling requires an abstraction of the geometry as a structured or unstructured grid. The adherence of the mesh with respect to certain quality criteria like angle criterion, aspect and expansion ratio are crucial and need strategies for professional thinning and conditioning of geometry models exploiting the full potential of airborne laserscanning data because the suitability of the models will be investigated in more complex situations. The models will be enhanced by descriptors for the embankment vegetation, which is observed due to the ability of the laser to see through gaps in the foliage. The roughness of the surfaces (embankment, channel bed), causing a widening of the echo in full-waveform laser scanning, and such data will give rise for further parameterization of these surfaces. The enhanced geometric quality and the additional parameters will be used to further develop the strategies for professional thinning and conditioning of the geometric models serving as basic data for hydrodynamic, hydro-morphologic or habitat modelling.

The modules river, standing water and coastal benefit especially from a new knowledge, understanding and development of better numerically simulated processes. Potential hazardous events require a reliable flood simulation. The invention of measuring shallow water bathymetry by airborne hydromapping will lead. The new geometrical data, in addition to capturing roughness information and information about water level, for the first time a close to reality modelling of hydraulic events or effects is possible. By using airborne hydromapping as a monitoring technique, and with it the possibility of capturing changes to water structures in a fast and cost-effective way, hydraulically model improvements will be given. These advantages are similar to hydro-morphological processes and improve the capabilities of morphodynamic models to predict short, medium and long-term morphodynamic trends. The new technology of hydromapping will extend the determination of consistent high-resolution bathymetric data sets and possibly the determination of rates of suspended sediments and local velocities covering the whole dynamic zone of shallow water areas. The recorded bathymetric data can be used in existing numerical models and the results compared against a scenario using initial traditionally collected bathymetry data. Sediment dynamics in natural water bodies has been the subject of intense research over several decades. A key interest on sediment movement is motivated by its impact morphology, therefore a better process understanding and prediction is needed. The new technology also offers the chance to track ecologic habitats and with it link to climate change processes over a large spatial extend for underlain aquatic and semiaquatic ecosystems. Especially the view below the water surface will open new insight into ecosystem dynamics of the important system of water bodies. Airborne hydromapping as input-data source to simulate spatial distributed habitats considering micro- and mesohabitats with assessment methods supporting water managers with quantitative and qualitative data for decision-making or as source for monitoring the effectiveness of the restoration of riparian areas or coastal areas is possible. Furthermore, it tries to make it possible to include ecological studies in spatial and high resolution monitoring concepts by pattern recognition.

The Hydro^{Connect} concept looks forward to deliver new assessment strategies around which cost-effective and transferable monitoring programmes can deliver knowledge on an aquatic system so that the ecological objectives we are obligated can be achieved. Building a stronger evidence base for decision-support tools requires considerable research investment to understand spatial and temporal trends of environmental quality and the

sensitivity and resilience of aquatic ecosystems to human pressures and climate change. Programmes of measures for restoration similarly needed to be based on the best available data and knowledge to deliver cost-effective and robust solutions.

3. AIRBORNE HYDROMAPPING

3.1. A technical step forward at a glance

Airborne laser scanning is unrivalled as the most effective concept for fast and economic mapping of large or recurring areas and collecting up-to-date, high-quality and high-resolution survey data. Recent developments at the Unit of Hydraulic Engineering at the University of Innsbruck in cooperation with *Riegl* LMS allows for the first time comprehensive surveys of shallow water bodies using an airborne operated water penetrating laser system (Airborne Hydromapping).

A technical system for the fast and area-wide collection of the bathymetric data of shallow water bodies meets the demands of managing the interests of different waterbodies. The possibility to capture shallow water areas in a fast and economic procedure compared to topographic measurements, made available by the technology of airborne laser altimetry, contains great potentials for scientists, administrations and the economy. For hydrologic, hydrographic, hydrodynamic, morphologic, water quality-specific, economic, and political research of shallow water areas a full geometrical and realistic bathymetric mapping as well as further water related indicators (e.g. turbidity, soil type, roughness, vegetation and macrophytes, turbulence, water surface elevation…) are required.

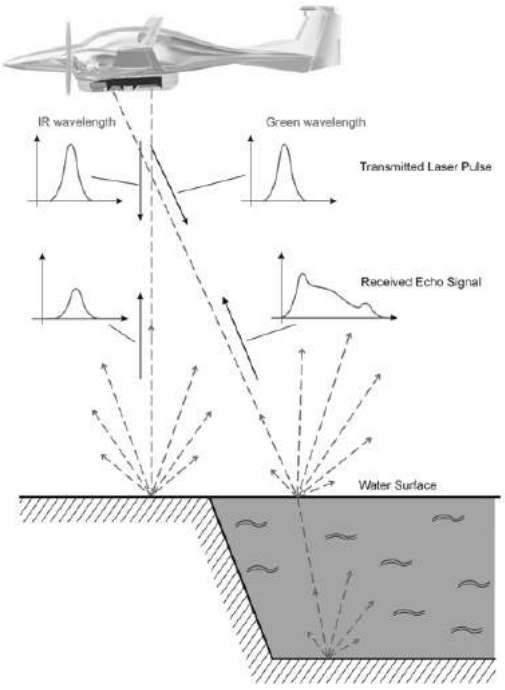


Figure 2: Technical principle of airborne hydromapping

Common laser scanning systems are used for the area-wide survey of topographic surfaces. Water-penetrating hydrographic laser scanner systems have been used successfully for over 20 years for military purposes (submarine detection) and refined to collect terrain data of the sea bottom (offshore systems). The accuracy of systems designed for capturing the sea bed depths of between 5m – 50m is sufficient for certain applications but there are limitations for shallow water situations where depths vary between 0m – 20m (most rivers and many lakes and coastal areas).

Low water depths, more unfavourable propagation characteristics and the wish for a larger density of survey information ask for different technological approaches. An airborne laser scanning system dedicatedly designed for the survey of shallow water areas represents a technical innovation. The development of lasers delivering short laser pulses with high pulse energy at the favourable green wavelength has made a tremendous progress in the past few years. Employing such lasers makes possible to achieve the spatial resolution aimed at. At the same time they allow to reach for reasonable measurement depths.

Hydrographic laser scanners carried by airplanes or helicopters make possible measuring of river, standing water and coastal bed elevation, riparian areas or estuaries as well as the adjacent floodplain with high resolution at a measurement rate not to be achieved with any other method. The system uses time-of-flight distance measurement of green laser pulses with pulse durations in the range of nanoseconds. The green pulses have the ability to penetrate into the water and hit the bottom. An acceptable transparency of the water for the laser beam, a basic condition for capturing a water body, is given only a wavelength range between blue and green (400nm – 600nm). Fast opto-mechanical beam scanning provides the coverage of a certain swath range along the aircraft's flight path. The reflected signals from water surface and water bottom are captured by high-sensitive receivers. The received echo signals hold information about influences that affected the signal on its way (e.g. surface waves, turbidity, obstacles). In order to be able to interpret the resulting echo pulse shape and consequently also to discern the waterbody specific indicators within each laser shot, it is mandatory to digitize the signals and apply a so-called full waveform analysis. After data acquisition and transformation the point cloud may be used to generate a digital surface model (DSM) through triangulation. Even the point cloud itself can be regarded as a kind of basic model for measuring distances, angles or discern objects or shapes beneath the water. By applying filtering algorithms fish, sediment in motion or water plants which are also captured may be extracted and analysed. Within a 1.1 Mio € research project, funded by the Austrian Research Promotion Agency (FFG) the authoritative factors for using the technology in mapping shallow water areas could be determined.

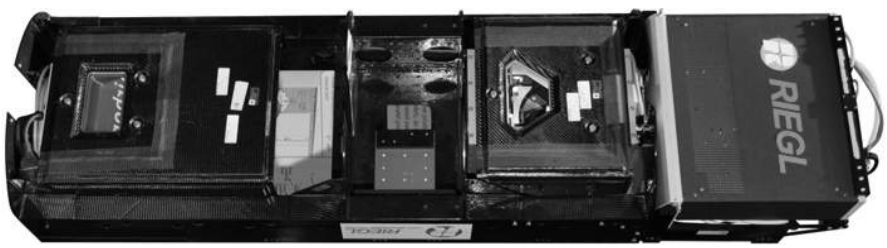


Figure 3: Bathymetric and topographic laser scanner; left to right: topographic laser scanner, INS, bathymetric laserscanning head, bathymetric laser source.

3.2. Experimental outline

Within more than two-and-a-half years the relevant requirements of a laser scanning system capable of scanning shallow water areas has been investigated (Figure 3). First, the main focus was directed at identifying and eliminating factors which result in inaccuracy during an airborne hydrographic laser scan. The research concept included the factors:

- wavelength
- eye safety
- refraction
- reflection
- attenuation
- depth of water layer
- angle of incidence
- character, kind, and size of target
- orientation of target
- surface waves
- maximum and minimum measuring depth
- resolution
- footprint size
- turbidity
- laser technology
- opto-mechanical sensor technology

Figure 4: Geometrical shape of test site, basin size 30m x 3.0m x 2.5m

Figure 5: Basin under turbid scanning conditions

Preliminary tests contained the gathering of information about the effects on pulses on their way through water. Employing a water basin and a lifting platform made it possible to determine the characteristics of the laser and the opto-mechanical components. The water depth (up to 2.5m), water properties (turbidity, waves), objects or different soil types within the basin and the height of the laser platform (up to 25m) were varied and the corresponding results analysed (Figures 4 and 5).

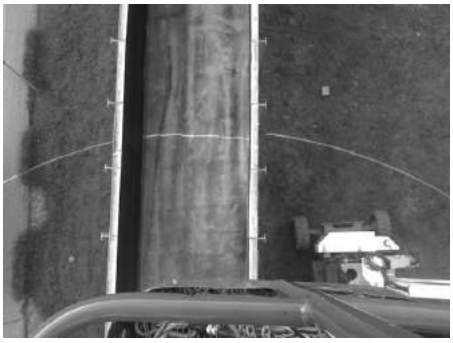


Figure 6: Laser scanner fit at a lifting platform, height 25m above test site

Figure 7: Laser scanner fit at a river Inn bridge

The research project was the basis to design and develop an airborne hydrographic laser scanning system, optimized for shallow water areas, improved to be able to segregate the recorded signal even at a minimum water depth, which at the moment is estimated to be around 10cm. The possibility to use the same laser source to capture water surface and bottom was investigated. Water waves lead to a different strength of the surface echo signals and could eventually cause it to even disappear completely. Further on, waves lead to variable impact angles. The refraction of the laser light consequently leads to a variation of propagation directions of the laser beam under water. In the experiments, this caused the laser footprint to roam around the bottom surface. This effect can be mitigated by using laser beams broad compared to the surface wave dimensions, and measuring only at comparatively still water conditions.

The acquired data confirms the necessity of specific signal processing techniques to handle recorded echo signals. The complex measuring situation of hydrographic scans with its different targets on the pulse's way through water (water surface, floating matter, sediment, fish or vegetation) requires highly sophisticated analysis algorithms. Methods to separate different targets within one laser shot have to be employed as well as methods to determine waterbody specific factors by full waveform analysis.

The effects of turbidity can be mentioned as one of the main tasks of the project (Figure 8). The kind of turbidity has major influence on signal shape and amplitude. It was differentiated between turbidity caused by suspended particles or moving sediment. While echo waveforms resulting from reduced transmittance of a uniform suspension (organic or inorganic particles, organisms) are well understood and can be thoroughly interpreted, echo waveforms resulting from moving sediments are far more complex. Coincidental, strong, and discrete echoes of a sediment particle may be not definitely separated from

the bottom echo or misinterpreted as bottom echo. Besides, if sediment transport forms a kind of solid interlayer measurement of the actual ground is not possible.

Figure 8: Turbidity test referenced to Secchi-depth and Formazin Standard.

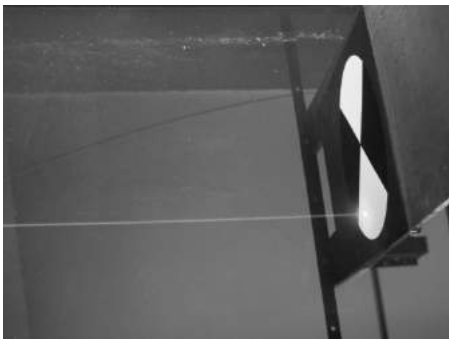


Figure 9: Hydraulic metering channel, green laser hits Secchi disk, maximum measuring depth of 16 m

A hydraulic metering channel (Figure 9) was used also to gain more technical expertise on the maximum measuring depth, the way of propagation, and the characteristics of optical reflection of different materials compared to those in air. Measurements up to a maximum depth of 16 m were performed. The metering channel gave the possibility to investigate the effects on widening of the laser beam in water. Already a relevant enlargement is given in clear water and the effect grows with increasing turbidity. Turbidity is a factor which limits the system's spatial resolution, i.e. the minimum size of objects to be differentiated from their surrounding terrain (footprint size).

On the basis of the described series of experiments, a better understanding of the problematic areas of a hydrographic laser scanner for shallow-water scenarios could be developed. To permit the desired spatial resolution (point density) a high laser pulse repetition rate and an adjusted scanning mechanism was required. Turbidity is a main influencing factor. Signal shape and amplitude of echo pulses are highly influenced by water sediments. Measurement of the water bottom may eventually be impossible due to shielding effects of sediment or high suspension loads. The Secchi disk was determined to be a first evaluation criterion on survey effects caused by turbidity. Further research investigates the Secchi depth of different Austrian and German water bodies on a regular basis. Seasonal and water body specific water characteristics will cause an optimum time slot of surveying (e.g. low tide, minimum of sediment transport, minimum of organic suspension). Otherwise, the biophysical linkages between turbidity, the influences on signal shape and amplitude are the key step for waterbody related indicators. Next to system optimization the main effort is seen within the Hydro^{Connect} concept to identify links and indicators between observed data and underlying mechanisms of physical and ecological processes by survey indicators.

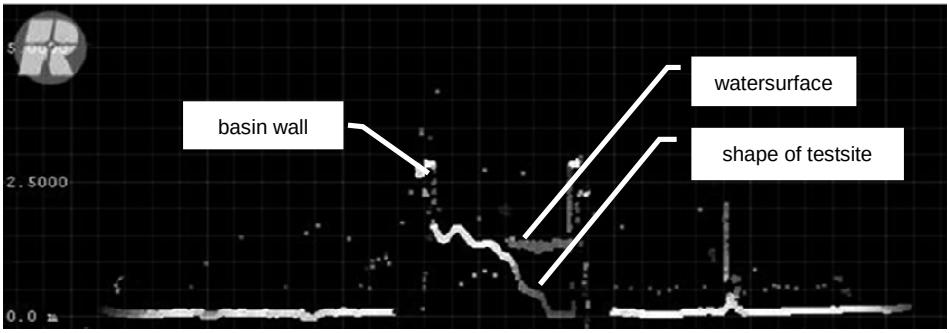


Figure 10: Cross-section of test site; bathymetric shape and water surface.

Figure 11: Data handling; the huge amount of data is processed block wise within HDF5 database structure; point cloud model of mountain stream.

CONCLUSION

Airborne Hydromapping and the research concept of Hydro^{Connect} try to cover technical and monitoring aspects next to the understanding of complex interactions between hydromorphological, physico-chemical, biological and human factors expressed in terms of water bodies' ecological status. Biodiversity is directly related to environmental decline or enhancement. An up-to-date, spatial and integrative monitoring approach on the level of water bodies followed by an analysis on the ecological impact meets the requirements needed to handle the present and future demandsof our water bodies.

Some major impacts of the Airborne Hydromapping technology and the HydroConnect concept can be sum up as:

- the implementation of a new and innovative monitoring methodology enables better ecological impact estimation and will lead to cost-effective remediation measures.
- a new sustainable way to monitor large areas of water bodies in a more economic and less time intensive way.
- the higher quality spatial data will allow investigation of interrelationships between the fields of impact which will offer a new sight on biodiversity connectivity's.
- fast monitoring methods and water body relevant factor investigation enable faster, better, more cost-orientated decisions on management of water bodies.

- the new technology releases financial and personal resources due to less cost and time consumption and offer the possibility of increased monitoring.
- the investigation of underlying mechanisms between morphology and the physical and ecological processes is currently limited by lack of high resolution and up-to-date data. Therefore a new spatial monitoring technique was needed.
- biological and hydro-morphological indicators, tools and models can be found in a multitude of new information based on the bathymetric data by full waveform analysis.
- the range of research sites means that, a water body related impact analysis can be performed for spatial structuring, variability and scaling effects with regard to physical and ecological aspects of habitats.
- the repetitive monitoring based on high resolution data offers the development of advanced habitat models. The high spatial resolution results in a high discrimination between habitat types. Furthermore it will offer an increased effectiveness and speed in habitat survey.

REFERENCES

[1] Steinbacher, F., Pfennigbauer, M. (2010), AIRBORNE HYDROMAPPING - Area-wide surveying of shallow water areas. In: Proceedings of the 38th ISPRS Congress, Calgary, Canada, on CD-ROM.

[2] Steinbacher, F., Pfennigbauer, M. (2009), Airborne Hydromapping - Area-wide surveying of shallow water areas; River Engineering. In: IAHR, Riverflow 2010, Braunschweig, Germany, ISBN13: 978-3-939230-00-7, p1709-1713.

[3] Ritter, M., Bohara, B. (2009), Visualization of Pathlines in Computational Fluid Dynamics Simulations. In NSF EPSCoR RII Abstract and Poster, Louisiana State University.

[4] Ritter, M., Bohara, B. (2010), Time-Curvature and Time-Torsion of Virtual Bubbles as Fluid Mixing Indicators. IADIS Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2010 (CGVCVIP 2010).Freiburg. Germany.

[5] Bohara B., Benger W., Ritter M., (2010), Evolving Time Surfaces in a Virtual Stirred Tank. 18th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2010.WSCG Proceedings. Plzen. Czech Republic.

[6] Steinbacher, F., Pfennigbauer, M., (2009), Austrian Research Promotion Agency (FFG), Progress report

[7] Ressla, C., Mandlburger, G., Pfeifer, N., (2009), Investigating adjustment of airborne laser scanning strips without usage of GNSS/IMU trajectory data

AUTHORS

Frank Steinbacher, Dipl.-Ing.[a,b]
Robert Klar, Dipl.-Ing[a,]
Markus Aufleger, Prof. Dr.[a]

[a] Unit of Hydraulic Engineering, University of Innsbruck, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Austria

[b] Steinbacher-Consult, Richard-Wagner-Str. 6, 86356 Neusäß, Germany, *frank.steinbacher@uibk.ac.at*

R 1.32.

EKOTOKSIČNI METALI NA MEĐUDRŽAVNIM VODOTOCIMA REPUBLIKE HRVATSKE

Krešimir Maldini, Helena Crnojević, Simana Milović, Sanja Maldini, Marija Marijanović Rajčić

SAŽETAK: Okvirna direktiva o vodama Europske Unije temeljni je dokument zaštite voda, koja propisuje utvrđivanje ekološkog i kemijskog stanja vodnih tijela, a usmjerena je na sprečavanje daljnjeg pogoršanja stanja voda i njihovu zaštitu. U skladu s tim definira listu prioritetnih tvari na temelju njihove toksičnosti i utjecaja na okoliš. Između ostalog lista uključuje i četiri ekotoksična metala - Cd, Pb, Ni i Hg, čija prisutnost može ozbiljno ugroziti vodeni ekosustav. Prema Programu praćenja kakvoće vode u Republici Hrvatskoj obavlja se i monitoring pograničnih rijeka. Glavni vodnogospodarski laboratorij Hrvatskih voda provodi monitoring na međudržavnim vodotocima na sljedećim mjernim postajama: Drava - Ormož, Botovo, Terezino Polje i Donji Miholjac, Dunav - Batina i Ilok, Sava - Drenje, Jasenovac i Županja nizvodno, Kupa - Bubnjarci i Dragonja – most Kaštel. U radu su prikazani rezultati analiza navedenih otopljenih metala u trogodišnjem razdoblju od 2008. do 2010. godine, te je napravljena usporedba rezultata analiza s graničnim vrijednostima za navedene otopljene metale prema nacionalnom propisu koji je u skladu s europskim. Koncentracije ekotoksičnih otopljenih metala na svim lokacijama međudržavnih vodotoka ispod su graničnih vrijednosti za prosječnu godišnju i maksimalnu godišnju koncentraciju dozvoljenu u površinskim vodama prema Uredbi o standardu kakvoće voda.

KLJUČNE RIJEČI: ekotoksični otopljeni metali, površinska voda, kadmij, olovo, nikal, živa

ECOTOXIC METALS ON THE INTERSTATE WATERWAYS OF THE REPUBLIC OF CROATIA

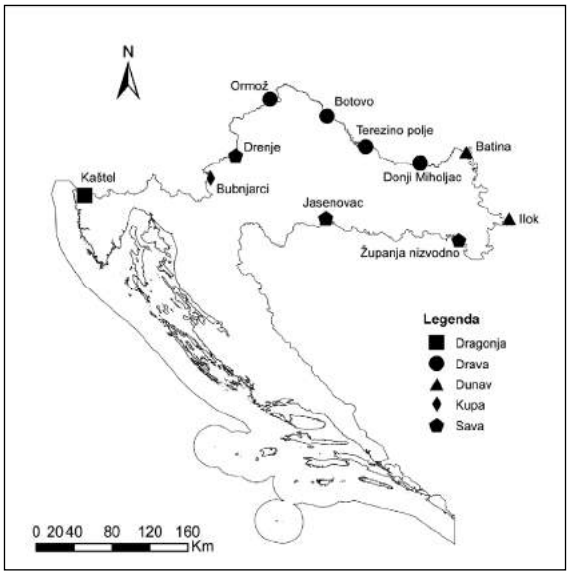
SUMMARY: Water Framework Directive of the European Union, basic document for water protection is carried out to determine the ecological and chemical status of water bodies. Its aim is protection of water and prevention of further deterioration of water bodies. In order to meet good condition of water, Directive defines list of priority substances based on their toxicity and environmental impact. The list includes four ecotoxic metals - Cd, Pb, Ni and Hg, whose presence in high concentrations can seriously endanger the aquatic ecosystem. According to the monitoring program in the Republic of

Croatia, regular monitoring of the border rivers is being conducted. The Central Water Management Laboratory conducts regular monitoring on the border rivers on the following monitoring stations : Drava - Ormož, Botovo, Terezino Polje and Donji Miholjac, Danube - Batina and Ilok, Sava - Drenje, Jasenovac and Županja downstream, Kupa - Bubnjarci and Dragonja - Kaštel bridge. The results of the analysis of metals - Cd, Pb, Ni and Hg are presented in three year period (2008. - 2010.) in this work. Those results are compared with the limit values for these metals according to the national rules, which are in accordance with European values. Concentrations of ecotoxic dissolved metals at all monitoring stations on border rivers are within the limit values for annual average and annual maximum permitted concentrations in surface waters according to the Regulation on Water Quality Standard.

KEYWORDS: ecotoxic dissolved metals, surface water, cadmium, lead, nickel, mercury

1. UVOD

Metali su u vodotocima uvijek prisutni. Njihova prirodna koncentracija ovisi o sastavu tla i stijena kroz koje vodotok prolazi. Razvoj industrije u 20. stoljeću uvelike je pridonio povećanoj koncentraciji metala u okolišu pa tako i u vodama u kojima mogu postati toksični za biljni i životinjski svijet, a na kraju prehrambenog lanca i za čovjeka. Važno je napomenuti da su otopljeni metali dostupnija frakcija, a samim tim i veća ekotoksikološka prijetnja svakom organizmu te je važna točnost njihovog određivanja (Mlakar M., 2007). Osim toga, metali imaju i svojstvo bioakumulacije u organizmu (Paasivirta J., 2000). Uredba o standardu kakvoće voda sadrži i granične vrijednosti za najtoksičnije metale - kadmij, olovo, nikal i živu, koji u malim količinama mogu prouzročiti kronične ili akutne



Slika 1. Karta Republike Hrvatske sa ucrtanim mjernim postajama na međudržavnim Vodotocima

efekte (Valavanidis A., Valchogianni T.). Dužina riječnih granica i brojnost prekograničnih vodotoka uvjetovali su suradnju u upravljanju vodama i uspostavu zajedničkog monitoringa sa susjednim državama. Zajednički monitoring s Republikom Slovenijom uspostavljen je na sljedećim rijekama i mjernim postajama: Drava - Ormož, Sava - Drenje , Kupa - Bubnjarci i Dragonja – most Kaštel. S Republikom Mađarskom zajednički monitoring uspostavljen je na sljedećim mjernim postajama na Dravi - Botovo, Terezino Polje, Donji Miholjac, te na Dunavu - Batina.

2. MATERIJALI I METODE

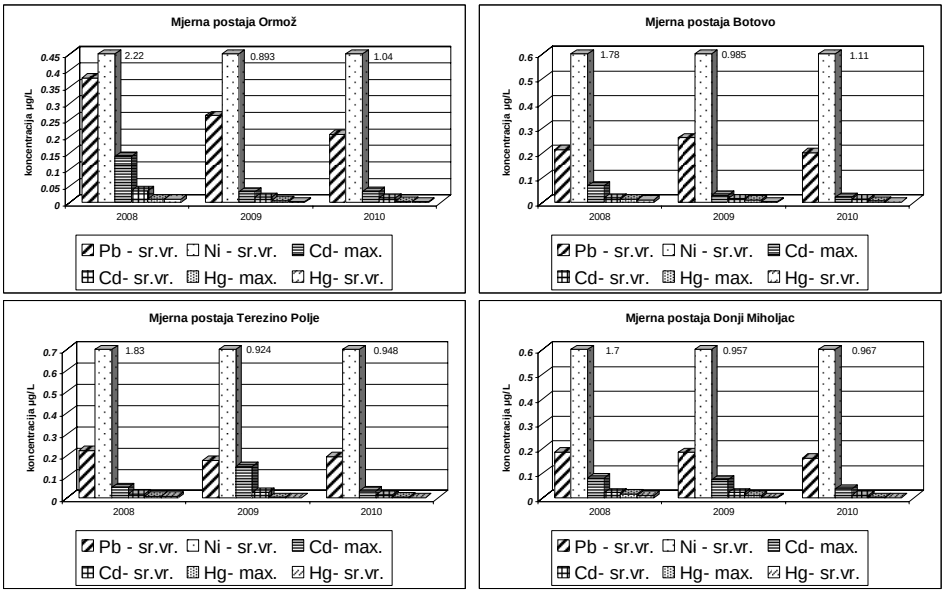
Voda je uzorkovana od 2008. do 2010. godine u sklopu redovitog praćenja kakvoće vode rijeka Save, Drave, Dunava, Kupe i Dragonje jednom mjesečno. Na mjernim postajama na Savi, Dravi i Dunavu, zajednički monitoring sa Republikom Slovenijom i Republikom Mađarskom provodio se 4 puta godišnje, a na mjernim postajama Kupa - Bubnjarci i Dragonja - most Kaštel zajednički monitoring s Republikom Slovenijom provodio se 2 puta godišnje (Poslovnik, Pravilnik). Sa ostalim susjednim državama zajednički monitoring nije još uspostavljen. Uzorkovanja su obavljena prema hrvatskim normama: HRN ISO 566-2:1999, HRN ISO 566-3:1999 i HRN ISO 5667-6:2000. Mjerenja su obavljena u Glavnom vodnogospodarskom laboratoriju Hrvatskih voda, kadmij, olovo i nikal metodom induktivno vezane plazme sa masenim spektrometrom (ICP MS Elan 9000, Perkin Elmer), prema normi ISO 17294-2:2003 en. Živa je izmjerena fluorescentnom spektrometrijom, metodom hladnih para (QUICK TRACE M-8000), prema normi EPA 1361. Na mjernoj postaji Sava Županja nizvodno otopljeni metali nisu bili određivani tijekom 2010. godine.

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1. Koncentracije metala u vodi rijeke Drave

Na slici 2. prikazane su maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala za svaku promatranu godinu na mjernim postajama na rijeci Dravi. Iz prikazanih podataka vidi se da je maksimalna koncentracija za otopljeni kadmij izmjerena 2009. godine na mjernoj postaji Terezino Polje i iznosila je 0,150 μg/L, dok je najveća prosječna vrijednost 2008. godine iznosila 0,036 μg/L na mjernoj postaji Ormož. Za otopljeno olovo najveća prosječna vrijednost iznosila je 0,378 μg/L 2008. godine na mjernoj postaji Ormož, a iste godine za otopljeni nikal 2,22 μg/L također na mjernoj postaji Ormož.

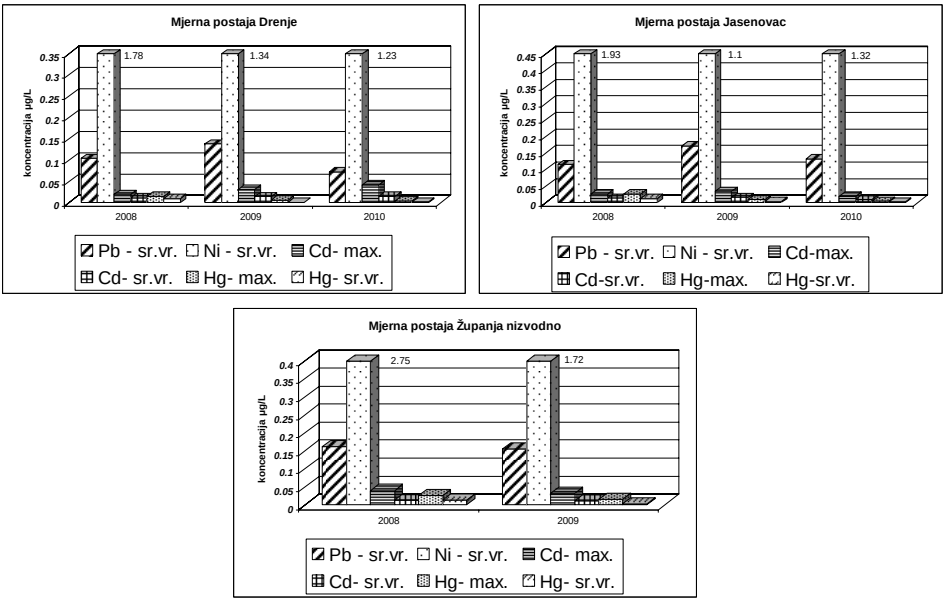
Maksimalna koncentracija za otopljenu živu izmjerena je 2008. godine na mjernoj postaji Donji Miholjac i iznosila je 0,016 μg/L, a iste godine izmjerene su najveće prosječne vrijednosti za otopljenu živu na sve četiri mjerne postaje i iznosile su 0,010 μg/L.



Slika 2. Maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala na mjernim postajama na rijeci Dravi

3.2. Koncentracije metala u vodi rijeke Save

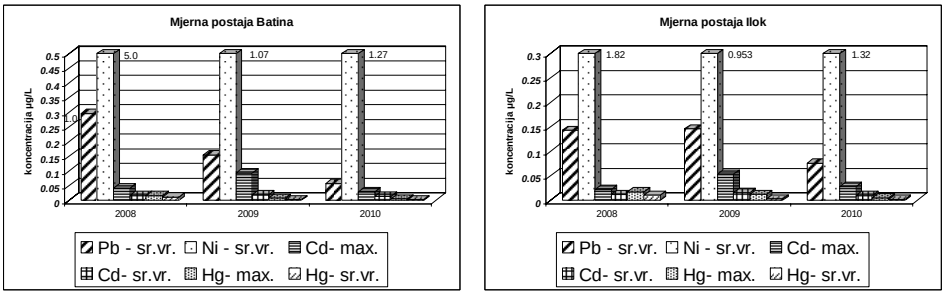
Na slici 3. prikazane su maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala za svaku promatranu godinu na mjernim postajama na rijeci Savi. Iz prikazanih podataka vidi se da je maksimalna koncentracija za otopljeni kadmij izmjerena 2010. godine na mjernoj postaji Drenje i iznosila je 0,042 µg/L, dok je najveća prosječna vrijednost za otopljeni kadmij 2009. godine iznosila 0,016 µg/L na mjernoj postaji Jasenovac. Za otopljeno olovo najveća prosječna vrijednost iznosila je 0,172 µg/L 2009. godine na mjernoj postaji Jasenovac, a za otopljeni nikal 2,75 µg/L 2008. godine na mjernoj postaji Županja niz.. Maksimalne koncentracije za otopljenu živu izmjerene su 2008. godine na mjernim postajama Jasenovac i Županja niz., a iznosile su 0,027 µg/L. Iste godine najveća prosječna vrijednost za otopljenu živu izmjerena je na mjernoj postaji Županja niz. i iznosila je 0,013 µg/L.



Slika 3. Maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala na mjernim postajama na rijeci Savi

3.3. Koncentracije metala u vodi rijeke Dunav

Na slici 4. prikazane su maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala za svaku promatranu godinu na mjernim postajama na Dunavu. Maksimalna i najveća prosječna koncentracija za otopljeni kadmij izmjerene su 2009. godine na mjernoj postaji Batina, a iznosile su 0,094 i 0,019 µg/L. Za otopljeno olovo najveća prosječna koncentracija iznosila je 0,296 µg/L 2008. godine također na mjernoj postaji Batina, a za otopljeni nikal 1,82 µg/L iste godine na mjernoj postaji Ilok. Maksimalna koncentracija za otopljenu živu izmjerena je 2008. godine na mjernoj postaji Batina i iznosila je 0,018 µg/L, a najveće prosječne vrijednosti za otopljenu živu izmjerene su iste godine na mjernim postajama Batina i Ilok i iznosile su 0,011 µg/L.

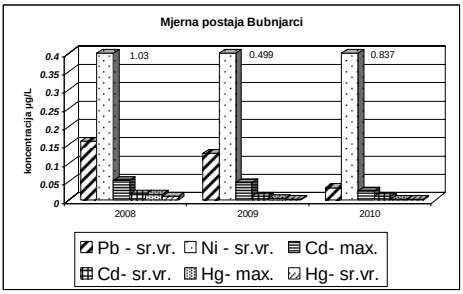


Slika 4. Maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala na mjernim postajama na rijeci Dunav

3.4. Koncentracije metala u vodi rijeke Kupe

Na slici 5. prikazane su maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala za svaku promatranu godinu na mjernoj postaji Kupa - Bubnjarci.

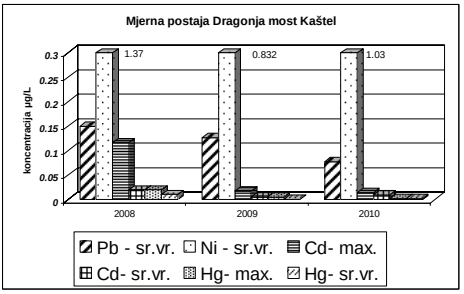
Iz prikazanih podataka vidi se da su maksimalna koncentracija i najveća prosječna vrijednost za otopljeni kadmij izmjerene 2008. godine, a iznosile su 0,053 i 0,015 μg/L. Za otopljeno olovo najveća prosječna vrijednost iznosila je 0,160 μg/L 2008. godine, a za otopljeni nikal 1,03 μg/L također 2008. godine.Također, maksimalna koncentracija za otopljenu živu izmjerena je 2008. godine i iznosila je 0,015 μg/L, dok je najveća prosječna vrijednost za otopljenu živu iste godine iznosila 0,010 μg/L.



Slika 5. Maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala na mjernoj postaji Kupa - Bubnjarci

3.5. Koncentracije metala u vodi rijeke Dragonje

Na slici 6. prikazane su maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala za svaku promatranu godinu na postaji Dragonja - most Kaštel. Iz prikazanih podataka vidi se da su maksimalna koncentracija i najveća prosječna vrijednost za otopljeni kadmij izmjerene 2008. godine, a iznosile su 0,117 i 0,020 μg/L. Za otopljeno olovo najveća prosječna vrijednost iznosila je 0,150 μg/L 2008. godine, a za otopljeni nikal 1,37 μg/L iste godine. Također, maksimalna koncentracija za otopljenu živu izmjerena je 2008. godine i iznosila je 0,020 μg/L, dok je najveća prosječna vrijednost za otopljenu živu iste godine iznosila 0,011 μg/L.



Slika 6. Maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerenih koncentracija otopljenih metala na mjernoj postaji Dragonja - most Kaštel

Prikazani rezultati analiza otopljenih metala uspoređeni su s graničnim vrijednostima za navedene metale u Uredbi o standardu kakvoće voda (Tablica 1). Za olovo i nikal propisane su prosječne godišnje dozvoljene koncentracije, a za kadmij i živu maksimalne i prosječne godišnje dozvoljene koncentracije. Za kadmij vrijednosti variraju ovisno o tvrdoći vode specificiranoj u pet klasa, a prema rezultatima analiza ispitivane vode su u 4. klasi, što znači da je njihova tvrdoća između 100 i 200 mg$CaCO_3$/L (Izvješće 1, 2008., Izvješće 2, 2008., Izvješće 3, 2008.).

Cd µg/L		Pb µg/L	Ni µg/L	Hg µg/L	
Maksimalna dozvoljena koncentracija (µg/L)	Prosječna godišnja koncentracija (µg/L)	Prosječna godišnja koncentracija (µg/L)	Prosječna godišnja koncentracija (µg/L)	Maksimalna dozvoljena koncentracija (µg/L)	Prosječna godišnja koncentracija (µg/L)
≤ 0.45 (klasa 1)	≤ 0.08 (klasa 1)	7.2	20	0.07	0.05
0.45 (klasa 2)	0.08 (klasa 2)				
0.6 (klasa 3)	0.09(klasa 3)				
0.9 (klasa 4)	0.15 (klasa 4)				
1.5 (klasa 5)	0.25 (klasa 5)				

Tablica 1. Maksimalno dozvoljene i prosječne godišnje dozvoljene koncentracije ekotoksičnih otopljenih metala u vodi prema Uredbi o standardu

Prikazani rezultati analize otopljenih metala podudaraju se sa rezultatima analiza Laboratorija inspektorata za zaštitu okoliša, zaštitu prirode i vode Južnog Prekodunavlja iz Pečuha te Ureda za hidroligiju i stanje okoliša, Sektora za kakvoću voda Agencije Republike Slovenije za okoliš (Izvješće 4, 2009., Izvješće 5, 2009.).

ZAKLJUČAK

Prema rezultatima ispitivanja može se zaključiti da su koncentracije ekotoksičnih otopljenih metala u trogodišnjem razdoblju, od 2008. do 2010. godine, na međudržavnim vodotocima Republike Hrvatske ispod graničnih vrijednosti, kako za maksimalne, tako i za prosječne godišnje koncentracije dozvoljene u površinskim vodama prema Uredbi o standardu kakvoće voda. U ocjeni kemijskog stanja naših pograničnih vodotoka u proteklom razdoblju nema problema sa sadržajem ispitanih metala jer je stanje dobro, a potrebno ga je zadržati i u budućnosti.

LITERATURA

[1] EPA 1361 – Određivanje žive fluorescentnom spektroskopijom metodom hladnih para

[2] HRN ISO 566-2:1999 – Kakvoća vode - Uzorkovanje – 2.dio: Smjernice za tehnike uzorkovanja

[3] HRN ISO 566-3:1999 – Kakvoća vode - Uzorkovanje – 3.dio: Smjernice za čuvanje uzoraka i rukovanje uzorcima

[4] HRN ISO 5667-6:2000 – Kakvoća vode – Uzorkovanje – 6.dio: Smjernice za uzorkovanje vode rijeka i potoka

[5] ISO 17294-2:2003 en – Određivanje metala induktivno vezanom plazmom s masenim spektrometrom

[6] Izvješće 1 : *Sustavno praćenje kakvoće vode rijeke Save u 2008. godini, Hrvatske vode, 2009.*

[7] Izvješće 2 : *Sustavno praćenje kakvoće voda rijeka Dunava, Drave, Mure i Dragonje u 2008. godini, Hrvatske vode, 2009.*

[8] Izvješće 3 : *Sustavno praćenje kakvoće površinskih voda na pograničnim vodotocima između RH i Republike Mađarske u 2008. godini, Hrvatske vode, 2009.*

[9] Izvješće 4 : *Izvješće o kakvoći površinskih voda na pograničnim vodotocima između RH i Republike Mađarske u 2009. godini, Hrvatske vode, 2010.*

[10] Izvješće 5 : *Izvješće o kakvoći graničnih vodotoka između Republike Hrvatske i Republike Slovenije u 2009. godini, Hrvatske vode, 2010.*

[11] Mlakar M., Kwokal Ž., 2007: *Važnost točnog određivanja prirodnih koncentracija tragova ekotoksičnih metala u vodama RH*. Zbornik radova 4. hrvatske konferencije o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Hrvatske vode, Opatija 2007., str.171-176.

[12] Okvirna direktiva o vodama Europske Unije

[13] Passivirta J. : *Long – term effects of bioaccumulation in ecosystem.* The Handbook of Environmental Chemistry, Vol.2 Part J Bioaccumulation (ed. By B. Beek), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000.

[14] Poslovnik Potkomisije za količinu i kakvoću voda, Stalna hrvatsko-slovenska komisija za vodno gospodarstvo, Ljubljana, 2010.

[15] Pravilnik Potkomisije za zaštitu kvalitete voda Stalne hrvatsko-mađarske komisije za vodno gospodarstvo, Tengelic, 2010.

[16] Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine 89/10.

[17] Valavanidis A., Valchogianni T. : *Metal pollution in ecosystem. Ecotoxicology studies and risk assessment in the marine environment.* Science advances on Environment, Toxicology & Ecotoxicology issues, www.chem-tox-ecotox

AUTORI

Krešimir Maldini, dipl. ing. kem. [a]
Helena Crnojević dipl. ing. preh.teh. [a]
Simana Milović dipl. ing. bioteh. [a]
Sanja Maldini dipl. ing. preh. teh. [a]
mr.sc. Marija Marijanović Rajčić dipl. ing. kem. [a]

[a] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, kresimir.maldini@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.33.

KEMIJSKI POKAZATELJI ORGANSKOG ONEČIŠĆENJA NA RIJECI SAVI

Damir Tomas, Marija Vrsalović, Sanja Maldini, Jasna Mrvčić, Marija Marijanović Rajčić

SAŽETAK: U ovom radu prikazani su kemijski pokazatelji organskog onečišćenja u vodi rijeke Save u 2009. godini. Posebno su obrađene mjerne postaje Drenje/Jesenice, koja se nalazi na ulazu rijeke Save u Republiku Hrvatsku, i mjerna postaja Račinovci, koja se nalazi na izlazu iz Republike Hrvatske. Kemijski pokazatelji koji ukazuju na prisutnost organske tvari u vodi, a koji su prikazani u ovom radu su: kemijska potrošnja kisika iz kalijeva permanganta (KPK-Mn), biokemijska potrošnja kisika (BPK5) i ukupni organski ugljik (TOC). Navedena ispitivanja provedena su 13 puta godišnje prema Planu i programu praćenja kakvoće vode u Republici Hrvatskoj za 2009. godinu. Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da mjerna postaja Drenje/Jesenice ukazuje na veće organsko onečišćenje u odnosu na mjernu postaju Račinovci.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Sava, organsko onečišćenje, KPK-Mn, BPK5, ukupni organski ugljik

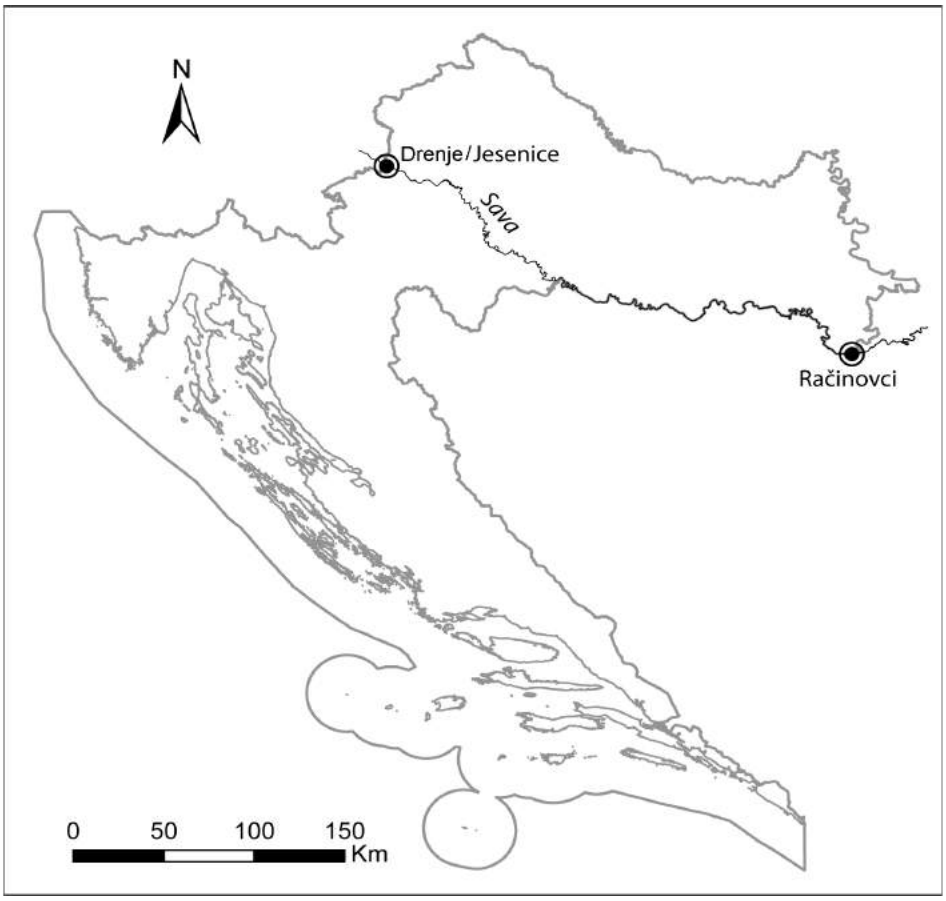
KEMIJSKI POKAZATELJI ORGANSKOG ONEČIŠĆENJA NA RIJECI SAVI

SUMMARY: The aim of this paper was to present chemical indicators of organic pollution on the Sava river in 2009. Of special interest was the analysis of the monitoring station Drenje /Jesenice, situated at the entrance of Sava river into the Republic of Croatia and the monitoring station Račinovci situated at the exit of Republic of Croatia. Chemical parameters that indicate the presence of organic matter in water, which are presented in this paper are following: chemical oxygen demand from the permanganate index (COD-Mn), biochemical oxygen demand (BOD) and total organic carbon (TOC). The tests above were performed 13 times per year under the Monitoring plan and program of water quality in Croatia in 2009. According to conducted analysis, sampling station Drenje/Jesenice indicate higher organic pollution in comparison to sampling station Račinovci.

KEY WORDS: Sava river, organic pollution, COD, BOD, total organic carbon

1. UVOD

U 2009. godini kakvoća vode rijeke Save ispitana je na 18 mjernih postaja duž njenog toka kroz Republiku Hrvatsku. Mjerne postaje koje su posebno obrađene u ovom radu nalaze se na ulazu (Drenje/Jesenice) i izlazu (Račinovci) iz Republike Hrvatske (Slika 1).



Slika 1. Prikaz istraženih mjernih postaja na rijeci Savi

Preko kemijskih pokazatelja organskog onečišćenja mjerena je količina organske tvari prisutne u vodi. KPK-Mn ukazuje na količinu otopljenog kisika potrebnog za oksidaciju organske tvari kemijskim putem, a koja može i ne mora biti i biološki razgradiva. Biokemijska potrošnja kisika predstavlja količinu otopljenog kisika u vodi koja je potrebna mikroorganizmima za razgradnju prisutne organske tvari. TOC predstavlja količinu ugljika vezanu u organskom spoju i često se koristi kao nespecifičan pokazatelj kvalitete vode s obzirom na količinu organskog onečišćenja.

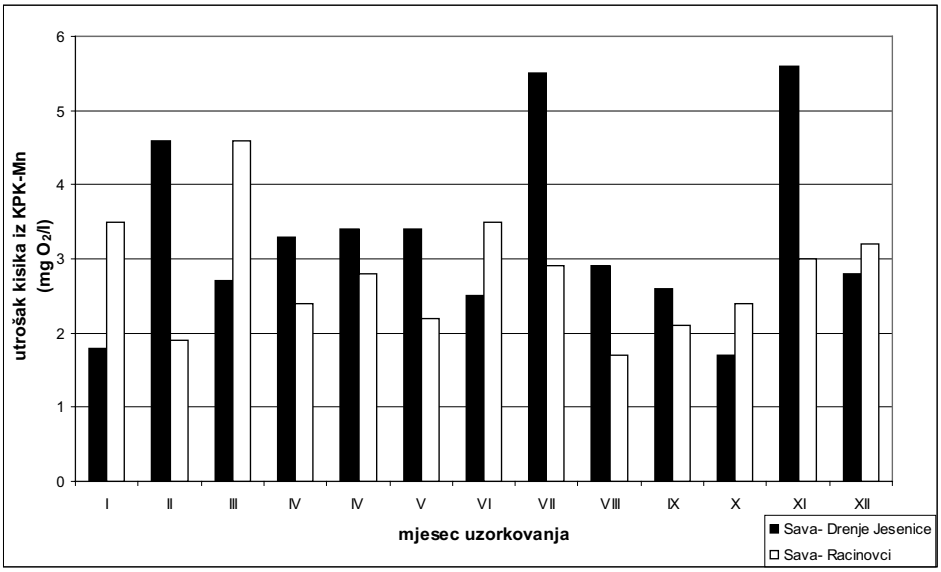
2. MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje je provodeno jednom mjesečno, osim u travnju kad je obavljeno dva puta prema normama HRN ISO 566-2:1999, HRN ISO 566-3:1999 i HRN ISO 5667-6:2000. KPK-Mn je određen titrimetrijskom metodom prema normi HRN EN 8467:2001. BPK5 je određen

Winkler metodom prema normi HRN ISO 5815:1998, a TOC metodom visokotemperaturne katalitičke oksidacije na instrumentu Shimadzu TOC-5000 prema normi HRN EN 1484:2002.

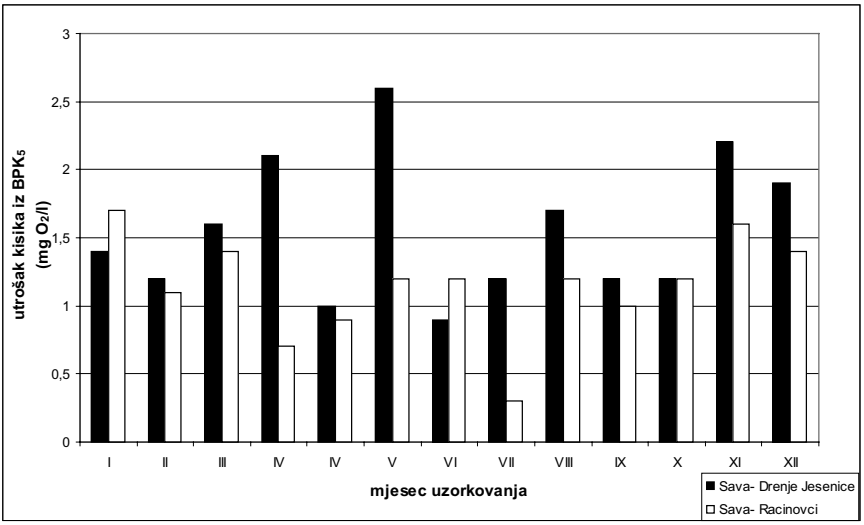
3. REZULTATI I RASPRAVA

Pojedinačni mjesečni rezultati ispitivanja pojedinih pokazatelja organskog onečišćenja prikazani su grafički (Slike 2., 3. i 4)



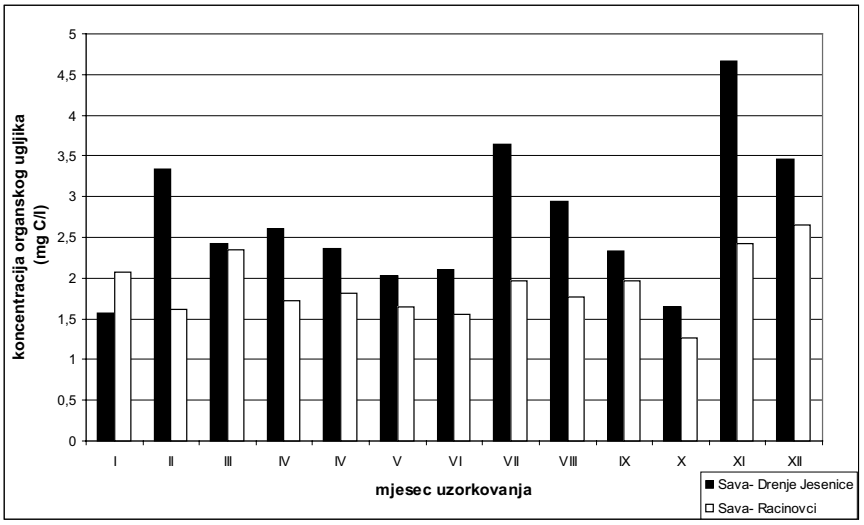
Slika 2. Prikaz utroška kisika iz KPK-Mn u 2009. godini na mjernim postajama Drenje/Jesenice i Račinovci

Na mjernoj postaji Drenje/Jesenice srednja vrijednost za KPK-Mn iznosila je 3,3 mg O_2/l, dok je srednja vrijednost na mjernoj postaji Račinovci bila 2,8 mg O_2/l (Hrvatske vode, 2010). Najveći utrošak kisika iz KPK-Mn izmjeren je u veljači, srpnju i studenom na mjernoj postaji Drenje/Jesenice. Povećane vrijednosti za navedeni pokazatelj na mjernoj postaji Drenje/Jesenice najvjerojatnije su povezane s povećanom koncentracijom suspendirane tvari organskog podrijetla, do koje je moglo doći prilikom povećanih količina oborina, višeg vodostaja (Slika 5.) i ispiranja okolnog tla.



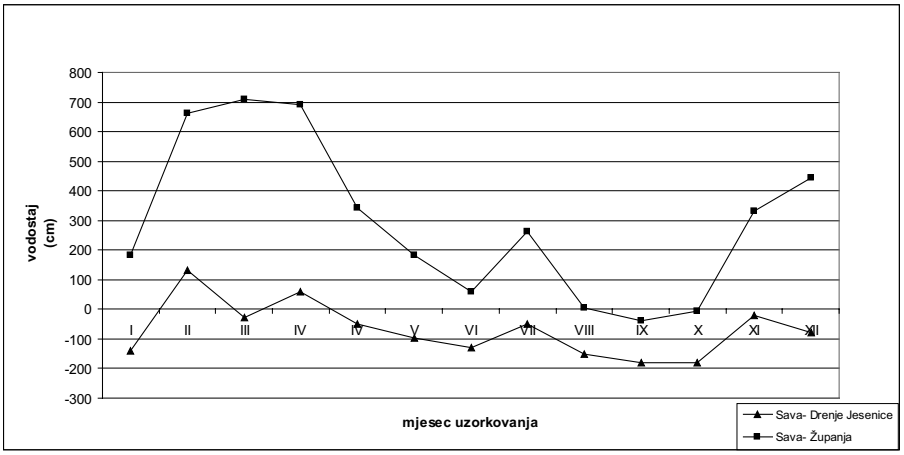
Slika 3. Prikaz utroška kisika iz BPK_5 u 2009. godini na mjernim postajama Drenje/ Jesenice i Račinovci

Na mjernoj postaji Drenje/Jesenice srednja vrijednost za BPK_5 iznosila je 1,6 mg O_2/l, dok je srednja vrijednost na mjernoj postaji Račinovci bila 1,1 mg O_2/l (Hrvatske vode, 2010). BPK_5 na mjernoj postaji Drenje/Jesenice gotovo u svim mjesecima bila je viša nego na mjernoj postaji Račinovci. Najviši utrošak kisika iz BPK_5 izmjeren je u svibnju kada je zabilježen niži vodostaj (Slika 5) i povišena temperatura vode što je uvjetovalo veće opterećenje rijeke Save organski biorazgradivom tvari.



Slika 4. Prikaz koncentracija TOC-a u 2009. godini na mjernim postajama Drenje/ Jesenice i Račinovci

Na mjernoj postaji Drenje/Jesenice srednja vrijednost za TOC iznosila je 2,70 mg C/l, dok je srednja vrijednost na mjernoj postaji Račinovci bila 1,91 mg C/l (Hrvatske vode, 2010). Koncentracija TOC-a na mjernoj postaji Drenje/Jesenice u svim mjesecima bila je viša nego na mjernoj postaji Račinovci. Najviša vrijednost TOC-a zabilježena je u studenom na mjernoj postaji Drenje/Jesenice kada je također zabilježeno povećavanje vodostaja (Slika 5).



Slika 5. Prikaz vrijednosti vodostaja u 2009. godini na mjernim postajama Drenje/ Jesenice i Račinovci

Budući da mjerna postaja Račinovci nema limnigraf, prikazane su vrijednosti s mjerne postaje Županja. Dio vodotoka rijeke Save na kojem se nalazi mjerna postaja Drenje/Jesenice prema vodnom tipu pripada u nizinske vodotoke gornjeg toka vrlo velikih tekućica u vapnenačkoj podlozi, dok dio vodotoka na kojem se nalazi mjerna postaja Račinovci pripada u nizinske vodotoke donjeg toka vrlo velikih tekućica u silikatnoj podlozi (Habdija i drugi, 2008). Prema Uredbi o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 89/10) dijelovi vodotoka na kojima se nalaze ispitane mjerne postaje su u vrlo dobrom stanju.

Rezultati ispitivanja kemijskih pokazatelja organskog onečišćenja na rijeci Savi, na dijelu toka između ulazne mjerne postaje u Republiku Hrvatsku (Drenje/Jesenice) i izlazne mjerne postaje iz Republike Hrvatske (Račinovci), pokazali su da nema značajnijeg unosa organskog onečišćenja iz pritoka rijeke Save duž njenog toka kroz Republiku Hrvatsku, kao ni iz komunalnih i industrijskih otpadnih voda.

U usporedbi s rezultatima ispitivanja rijeke Save prijašnjih godina (Hrvatske vode, 2007; Hrvatske vode, 2008; Hrvatske vode, 2009) može se uočiti da su vrijednosti ispitivanih pokazatelja ostale iste ili je došlo do neznatnog poboljšanja na mjernoj postaji Račinovci.

ZAKLJUČAK

Iz prikazanih rezultata kemijskih pokazatelja organskog onečišćenja na rijeci Savi na njenom ulazu i izlazu iz Republike Hrvatske, može se zaključiti da je organsko opterećenje na ulazu rijeke Save više nego na izlazu, jer su utrošci kisika iz KPK-Mn i BPK_5, kao i koncentracija TOC-a uglavnom viši na mjernoj postaji Drenje/Jesenice u odnosu na

mjernu postaju Račinovci, što znači da komunalne i industrijske vode, kao ni pritoci rijeke Save ne doprinose povećanju onečišćenja organskim tvarima. Rezultati pokazuju slaganje s ispitivanjima iz prethodnih godina.

LITERATURA

[1] Habdija, I., Kerovec, M., Mrakovčić, M., Plenković-Moraj, A. i Primc-Habdija, B. (2008): Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u Hrvatskoj prema kriterijima Okvirne direktive o vodama. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

[2] Hrvatske vode, (2007): Izvještaj o ocjeni promjene kakvoće voda u Republici Hrvatskoj u razdoblju 2002.-2006. godina

[3] Hrvatske vode, (2008): Izvještaj o ispitivanju kakvoće voda u Republici Hrvatskoj u 2007. godini

[4] Hrvatske vode, (2009): Izvještaj o ispitivanju kakvoće voda u Republici Hrvatskoj u 2008. godini

[5] Hrvatske vode (2010): Kakvoća površinskih voda u Republici Hrvatskoj u 2009. godini

[6] Kakvoća vode- Uzorkovanje- 2.dio: Smjernice za tehnike uzorkovanja, HRN ISO 566-2:1999

[7] Kakvoća vode- Uzorkovanje- 3.dio: Smjernice za čuvanje uzoraka vode i rukovanje uzorcima, HRN ISO 566-3:1999

[8] Kakvoća vode- Uzorkovanje- 6.dio: Smjernice za uzorkovanje vode rijeka i potoka, HRN ISO 5667-6:2000

[9] Kakvoća vode – Određivanje permanganatnog indeksa, HRN EN ISO 8467:2001 en

[10] Kakvoća vode – Određivanje biokemijske potrošnje kisika nakon 5 dana (BPK_5) – Metoda razrjeđivanja i nacjepljivanja, HRN ISO 5815:1998 en

[11] Ispitivanje vode- Smjernice za određivanje ukupnoga organskog ugljika (UOU) i otopljenog organskog ugljika (OOU), HRN EN 1484:2002

[12] Uredba o standardu kakvoće voda, „Narodne novine“ br. 89/10

AUTORI

Damir Tomas, dipl.ing.[a]
Marija Vrsalović, dipl.ing.[a]
Sanja Maldini, dipl.ing.[a]
dr.sc.Jasna Mrvčić, docent[b]
mr.sc. Marija Marijanović Rajčić[a]

[a] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, *damir.tomas@voda.hr*

[b] Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, *jmrvcic@pbf.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.34.

TOKSIKOLOŠKO ISTRAŽIVANJE VODE RIJEKE ILOVE

Sandra Radić Brkanac, Draženka Stipaničev

SAŽETAK: Industrijske otpadne vode, kanalizacijske vode kao i ispirne vode s poljoprivrednih površina glavni su izvori onečišćenja vode i tla. U ovom su radu istraženi učinci vode rijeke Ilove uzorkovane 17.10.2009 (IL1), 24.10.2009 (IL2) i 07.11.2009 (IL3) primjenom kratkotrajnog Allium (24h) i dugotrajnog Lemna-testa (7 dana). Potonji test se izvodi prema ISO protokolu (ISO20079) dok Allium test još nije potpuno standardiziran ali je klasični test genotoksičnosti koji se izvodi prema strogo određenom protokolu. Osim biotestova, napravljena je i proširena fizikalno-kemijska analiza. U vodenoj leći su svi uzorci voda izazvali smanjenje rasta i sadržaja klorofila i karotenoida. Svi uzorci vode rijeke Ilove uzrokovali su morfološke promjene u obliku kuka na vršku korjenčića te značajno smanjenje mitotskog indeksa, a uzorci vode IL1 i IL2 bitno su inhibirali i rast korjenčića. Najveći broj kromosomskih aberacija zamijećen je u stanicama korijena luka izloženim uzorku IL3, no i ostali uzorci rijeke Ilove povećali su broj mitotskih nepravilnosti u stanicama korijena u usporedbi s kontrolom. Ovo je istraživanje pokazalo da bi, uz klasične fizikalno-kemijske parametre, i testovi toksičnosti i genotoksičnosti poput Allium- i Lemna-testa trebali biti uključeni u rutinske analize praćenja kvalitete kopnenih voda. Dobiveni rezultati ukazuju na prisutnost cito- i genotoksičnih tvari u uzorkovanoj vodi i indiciraju potencijalan rizik za sve žive organizme.

KLJUČNE RIJEČI: monitoring, inhibicija rasta, klorofil, mitotski indeks, genotoksičnost

TOXICOLOGICAL STUDY OF RIVER ILOVA

SUMMARY: Industrial wastewater, secondary effluents of sewage treatment plants and run-off from agricultural fields are the major sources of aquatic and terrestrial environment pollution. Toxic and genotoxic effects of surface water of river Ilova (17.10.2009 - IL1, 24.10.2009 - IL2 and 07.11.2009 - IL3) were investigated by using short-term Allium (24h) and long-term Lemna test (7 days). The letter test is performed according to the ISO protocol (ISO20079) while the Allium test is not yet fully standardized, but it is performed strictly according to well established protocol. In addition, the expanded physicochemical characterization was carried out. The inhibition of growth as well as decrease of chlorophyll and carotenoid contents was noticed. All water samples caused morfological changes of root tips such as crochet hooks while IL1 and IL2 water samples cuased the inhibition of onion root length as well. Mitotic index of root cells exposed to

Ilova water samples significantly declined. Although cytogenetic analysis revealed the highest number of chromosome aberrations in root cells exposed to IL3 sample, other Ilova samples also increased the frequency of mitotic abnormalities in comparison with control. The investigation suggest that (geno)toxicity assays should be included, along with conventional chemical analysis, in water quality monitoring programs. The results obtained indicate the presence of cyto-and genotoxic substances in the tested water and indicate a potential risk to all living organisms.

KEY WORDS: monitoring, growth inhibition, chlorophyll, mitotic index, genotoxicity

1. UVOD

Površinske i otpadne vode su složene smjese koje mogu sadržavati tisuće različitih onečišćivača različitog porijekla (industrijski, poljoprivredni, otpad iz kućanstava). Mnogi od tih onečišćivača pokazuju toksične i/ili genotoksične učinke i stoga predstavljaju potencijalan rizik za ljudsko zdravlje i sam okoliš. No, vrlo je teško kvantificirati rizik povezan s ksenobioticima prisutnim u okolišu stoga što se oni pojavljuju kontinuirano u subtoksičnim koncentracijama što uvelike otežava njihovo pouzdano određivanje kemijskom analizom. Takve niske koncentracije toksikanata najčešće rezultiraju i kontinuiranim narušavanjem osjetljivih staničnih biomolekula (DNA, proteini, lipidi). Dodatno, kako je kemijska analiza usmjerena ka identifikaciji i kvantifikaciji specifičnih kemikalija u okolišu propisanih zakonom, ostale kemikalije koje nisu otkrivene ovim analitičkim tehnikama ostaju neidentificirane. Zbog kompleksne prirode takvih voda, najbolje je primijeniti integrirani pristup koji kombinira kemijsku analizu i biotestove u procjeni potencijalne (geno)toksičnosti takvih smjesa. Biološki testni sustavi na živim stanicama ili organizmima daju opći odgovor na smjesu mikroonečišćivača prisutnih u uzorku, a bez prijašnjih informacija o sastavu i svojstvima smjese dobivenih kemijskom analizom. U mnogim se zemljama već čitav niz godina u procjeni kvalitete voda rutinski koriste određeni testovi toksičnosti i genotoksičnosti upotrebom različitih testnih sustava (Allan i drugi, 2006).

U ovom su istraživanju u svrhu procjene kvalitete vode rijeke Ilove kao i učinka različitih mikrozagađivača korišteni Lemna-test i Allium-test. U neposrednoj blizini rijeke Ilove nalazi se PETROKEMIJA d.d., Tvornica gnojiva Kutina koja predstavlja i najveći potencijalni izvor zagađenja te rijeke.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Uzorkovanje vode rijeke Ilove

Uzorci vode rijeke Ilove sakupljeni su u dijelu riječnog toka nakon utoka Kutinice (otpadni kanal PETROKEMIJA d.d.), a sakupljeni su u tri vremenska perioda: Ilova 17.10.2009 – IL1, Ilova 24.10.2009 – IL2, Ilova 07.11.2009 – IL3).

2.2. Određivanje fizikalno-kemijskih pokazatelja i sadržaja hranjivih tvari

Pokazatelj	Metoda	Granica detekcije
FIZIKALNO KEMIJSKI		
pH pokazatelj	HRN ISO 10523:1998, elektrometrijski	0,01
električna vodljivost	HRN ISO 7888:2001, elektrometrijski	0,1 μS/cm
uk. sušen. susp. krutina	HRN ISO 11923:1998, gravimetrijski	1,0 mg/L
REŽIM KISIKA		
KPK – Mn	NIP (1990) Kubel – Timann, titrimetrijski	0,2 mg/L O_2
BPK_5	HRN ISO 5815:1998, Winkler metoda	0,2 mg/L O_2
HRANJIVE TVARI		
amonij	HRN ISO 7150-1:1998, spektrofotometrijski (PE Lambda 11)	0,006 mgN/L
nitriti	HRN EN ISO 1034-1:1998, IC (Methrom 761 Compact)	0,002 mgN/L
nitrati	HRN EN ISO 1034-1:1998, IC (Methrom 761 Compact)	0,02 mgN/L
ukupni dušik	ISO/TR 11905-2 TOC (Shimatzu Vef + TNM-1)	0,05 mgN/L
orto-fosfati	HRN ISO 6878:2001, spektrofotometrijski (PE Lambda 11)	0,002 mg/L P
ukupni fosfor	HRN ISO 6878:2001, spektrofotometrijski (PE Lambda 11)	0,003 mg/L P

Tablica 1. Metode određivanja fizikalno-kemijskih parametara.

2.3. Određivanje sadržaja teških metala i fluorida u uzorcima vode

Uzorci (tanke mete) osušeni su na zraku i analizirani (Oreščanin i drugi, 2008). Tanke mete su analizirane metodom fluorescencije X-zraka (energy dispersive X-ray fluorescence) korištenjem MiniPal 4 spektrometra (PANalytical, Almelo, Nederland). Sadržaj fluorida u predmetnim uzorcima je određen ion selektivnom elektrodom (Orion 720A+, 96-09BN).

2.4. Kultura vodene leće (*Lemna minor L.*) u uvjetima *in vitro*

Za dugotrajnu kultivaciju vodene leće (*Lemna minor L.*) u akseničnim uvjetima korištena je modificirana Pirson-Seidel hranjiva podloga, a za predkultivaciju i eksperimentalnu analizu hranjiva podloga po Steinbergu (1946). Biljke su na modificiranoj Pirson-Seidel podlozi uzgajane u uvjetima dugog dana (16 sati osvjetljenja i 8 sati tame) na temperaturi 24±1 ˚C uz rasvjetu bijelih fluorescentnih svjetiljki (90 $\mu Em^{-2}s^{-1}$) u klima–komori. Prije izvođenja samog pokusa, biljke su presađene na Steinbergovu podlogu te uzgajane na njoj tijekom 2 tjedna radi bolje adaptacije (predkultivacija). Prije nasađivanja biljaka, uzorcima sakupljenih voda dodani su makro- i mikroelementi po Steinbergu nakon čega su sterilizirani hladnom filtracijom korištenjem celuloza-nitratnih membrana (veličine pora 0,45 μm). Tijekom predkultivacije i jednotjedne kultivacije za Lemna-test, biljke su uzgajane u uvjetima kontinuiranog osvjetljenja na temperaturi 24±1 ˚C uz rasvjetu bijelih fluorescentnih svjetiljki u klima–komori. Svi parametri mjereni su nakon tjedan dana izloženosti testnih biljaka uzorcima voda IL1, IL2 i IL3.

2.5. Lemna-test (ISO 20079) - stopa rasta vodene leće

Rast biljaka praćen je određivanjem relativne stope rasta izražene po broju frondova, masi suhe tvari i masi svježe tvari nakon tjedan dana izlaganja uzorcima površinskih voda. Pri tome je brojena svaka pa i najmanja biljka vidljiva golim okom. Dobiveni podaci uvrštavani su u slijedeći izraz:

$$\text{Stopa rasta} = \frac{ln\, x\, t2 \; - \; ln\, x\, t1}{t2 - t1}$$

x t1 – vrijednost promatranog parametra u vremenu t1 (dani)

x t2 – vrijednost promatranog parametra u vremenu t2 (dani)

t2-t1 – vremenski period između dana uzimanja uzorka i početnog dana

2.6. Određivanje sadržaja pigmenata u vodenoj leći

Sadržaj pigmenata određen je spektrofotometrijski na tri valne duljine: 663, 646 i 470 nm (Arnon, 1949). Sadržaj fotosintetskih pigmenata određen je prema Lichtenthaleru (1987).

2.7. Allium-test – inhibicija rasta korjenčića, mitotski indeks i kromosomske nepravilnosti

Inhibicija rasta korjenčića luka kao i promjene u morfologiji samih korjenčića korišteni su kao pokazatelji ukupne toksičnosti uzoraka površinskih voda (Rank i Nielson, 1993). Lukovice su stavljene na vrh bočica te bazom uronjene u odstajalu vodovodnu vodu dok korjenčići nisu postigli duljinu od cca 2 cm. Nakon toga su premještene na uzorke testnih voda (realni uzorci). Nakon 24 h izlaganja testnim vodama, običnoj destiliranoj vodi (kontrola) ili 5mM otopini etilmetansulfonata (EMS, pozitivna kontrola), korjenčići su fiksirani u mješavini etanola i ledene octene kiseline. Inhibicija rasta korjenčića luka praćena je nakon 48 h rasta na testnim vodama. Mikroskopiranje i fotografiranje obavljeno je svjetlosnim mikroskopom "Standard 20 Zeiss". Za analizu mitotske aktivnosti pregledano je najmanje 3000 stanica po svakom uzorku testnih voda, a za analizu kromosomskih aberacija najmanje 100 diobenih stanica vrhova korjenčića luka po uzorku. Mitotski indeks je izračunat kao omjer broja stanica u diobi i ukupnog broja stanica uzorka i izražen je u postocima.

2.8. Statistička obrada podataka

Svaki brojčani podatak prikazan grafikonom ili tablicom aritmetička je sredina određenog broja replika. Usporedba kontrole i tretmana (pojedinačno i međusobno) provedena je testom "Duncan's New Multiple Range Test" za svaki pojedini dan. Statistički značajnim smatrani su rezultati koji su se razlikovali na razini $p \leq 0{,}05$. Pri statističkoj obradi podataka korišten je računalni program STATISTICA 8.0 (Stat Soft Inc., SAD).

3. REZULTATI

U *Tablici 2.* prikazan je sadržaj fizikalno-kemijskih pokazatelja izmjeren u uzorcima vode rijeke Ilove. pH vrijednost uzoraka vode rijeke Ilove kretala se u alkalnom području (7,61-7,68). Najveća električna vodljivost i najveći sadržaj suspendirane tvari izmjereni su u uzorku rijeke Ilove IL2. Vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK-Mn) bile su najveće u uzorku vode rijeke Ilove IL1, a vrijednosti biološke potrošnje kisika (BPK_5) bile su najveće u uzorku vode IL3. Sadržaji svih mjerenih hranjivih tvari, izuzev nitrita, bili su višestruko veći u uzorku vode IL2 u usporedbi sa ostalim uzorcima.

Pokazatelji	Mjerna jedinica	**rijeka Ilova**		
		12.10.09.	**24.10.09.**	**07.11.09.**
Fizikalno kemijski				
pH		7,61	7,62	7,68
Suspendirana tvar	mg / L	41	124	76
Električna vodljivost	µS / cm	478	711	443
Režim kisika				
KPK - Mn	mg O_2 / L	22,6	13,1	6,7
BPK_5	mg O_2 / L	18	13	26,3
Hranjive tvari				
Amonij	mg N / L	5,28	17,5	4,44
Nitriti	mg N / L	0,25	0,195	0,1
Nitrati	mg N / L	3,95	17,78	2,69
Ukupni dušik	mg N / L	14,3	39,54	9,06
Otopljeni ortofosfati	mg P / L	0,299	7,606	2,73
Ukupni fosfor	mg P / L	1,00	10,92	3,5

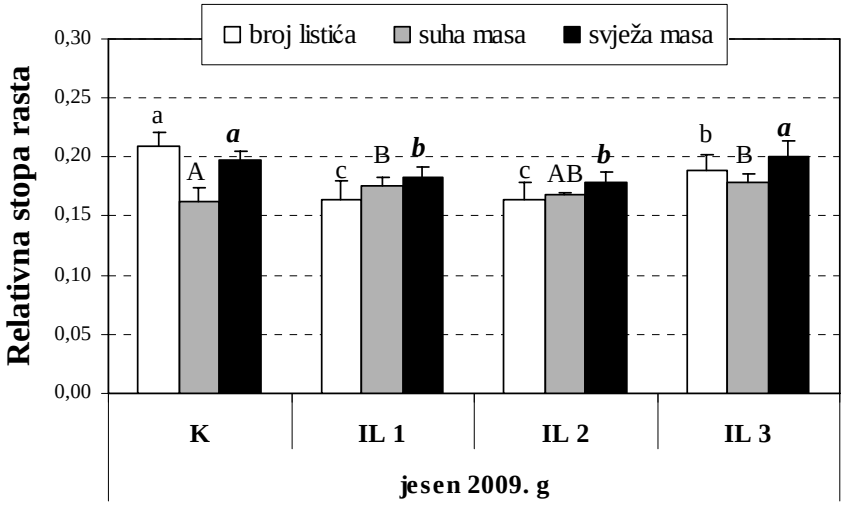
Tablica 2 .Vrijednosti fizikalno-kemijskih pokazatelja u vodi rijeke Ilove uzorkovane u jesen 2009.

U *Tablici 3.* prikazan je sadržaj teških metala i fluorida izmjeren u uzorcima vode rijeke Ilove IL1, IL2 i IL3. Sadržaj željeza bio je najviši u uzorku vode rijeke Ilove IL1 u odnosu na ostale uzorke vode. Sadržaj olova, bakra, cinka i kroma bio je povišen u uzorku vode IL1 u usporedbi s IL2 i IL3. Sadržaj fluorida bio je iznimno visok u svim uzorcima Ilove, a posebice u uzorcima IL2 i IL3.

Element µg/L	IL1	IL2	IL3
V	<0,1	<0,1	<0,1
Cr	2,8	1,2	<0,1
Fe	196,8	118,8	131,12
Ni	0,8	<0,1	<0,1
Cu	0,4	<0,1	<0,1
Zn	53,2	40,4	42,4
Se	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	<0,1	<0,1	<0,1
Pb	2	<0,1	<0,1
Mo	8,0	<0,1	<0,1
F	3500	22500	12500

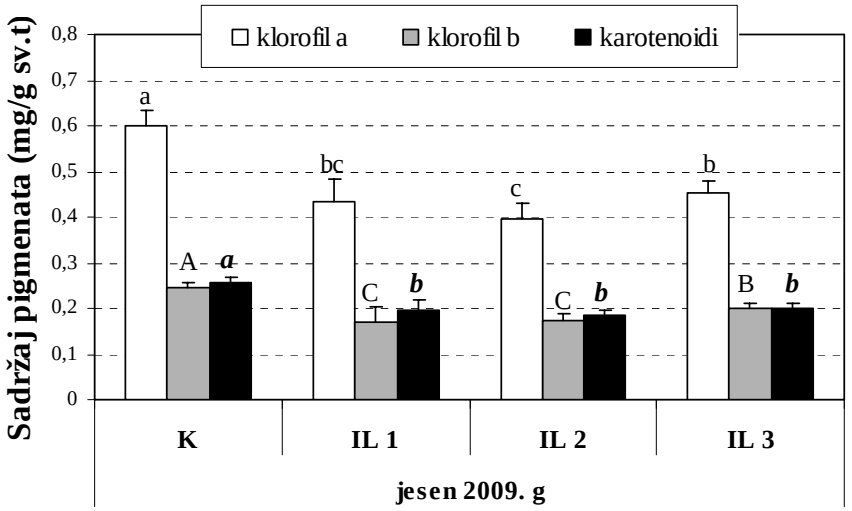
Tablica 3. Sadržaj teških metala i fluorida u vodi rijeke Ilove uzorkovane u jesen 2009.

Svi uzorci rijeke Ilove iz tog razdoblja, a posebice IL1 i IL2, uzrokovali su statistički značajno smanjenu stopu rasta izraženu po broju listića (smanjenje 10-21%) u odnosu na kontrolu. Stopa rasta izražena po masi suhe tvari bila je statistički značajno povećana u biljkama uzgajanim na uzorcima vode IL1 i IL3. Vrijednosti stope rasta izražene po masi svježe tvari biljaka su više varirale u odnosu na stopu rasta broja biljaka (*Slika 1*). Razlog smanjenoj stopi rasta su vjerojatno uzajamni učinci smjese metala, fluorida i amonija.



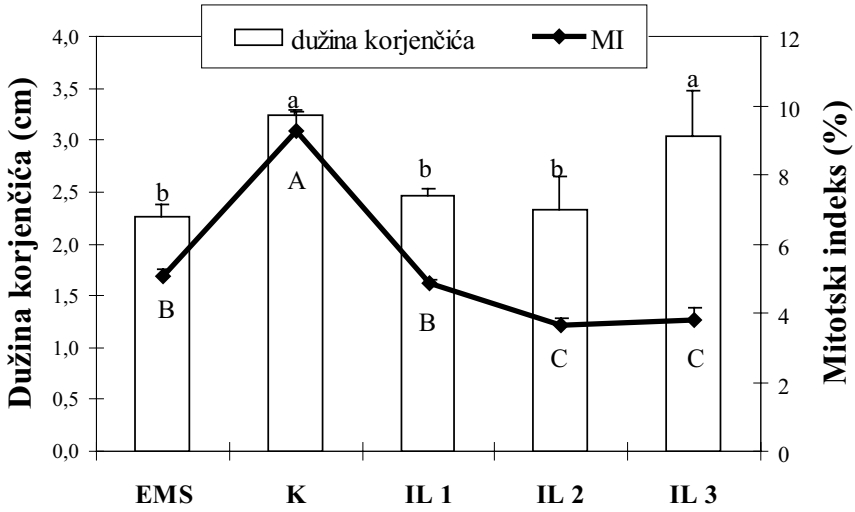
Slika 1. Relativna stopa rasta izražena po broju listića, masi suhe tvari i masi svježe tvari vodene leće nakon sedam dana rasta na vodi rijeke Ilove uzorkovane u jesen 2009. g – IL1, IL2, IL3 ili na podlozi bez uzoraka voda – K (kontrola). Na stupcima je označena standardna devijacija. Stupci označeni različitim slovima statistički se značajno razlikuju od kontrole ($p < 0,05$).

Svi uzorci vode rijeke Ilove iz tog razdoblja uzrokovali su statistički značajno smanjenje sadržaja klorofila *a* (između 25 i 34%) i *b* (između 20 i 32%) te karotenoida (između 21 i 29%) u vodenoj leći u odnosu na kontrolu (*Slika 2*). Teški metali utječu prvotno upravo na biosintezu fotosintetskih pigmenata budući da su kloroza i poremećaji u rastu prvi simptomi toksičnosti teških metala (Fodor, 2002).



Slika 2. Sadržaj klorofila a i b te ukupnih karotenoida (mg / g svježe tvari) u vodenoj leći nakon sedam dana rasta na vodi rijeke Ilove uzorkovane u jesen 2009. g – IL1, IL2, IL3. Na stupcima je označena standardna devijacija. Stupci označeni različitim slovima statistički se značajno razlikuju od kontrole ($p < 0,05$).

Svi uzorci vode rijeke Ilove iz tog perioda uzrokovali su bitno smanjenje (48-60%) mitotskog indeksa (MI) u meristemskim stanicama luka u odnosu na kontrolu, a uzorci IL1 i IL2 statistički su značajno inhibirali (23- 28%) i rast korjenčića (*Slika 3*). Smanjeni mitotski indeks u korijenu luka ukazuje na poremećaj staničnog ciklusa koji je vjerojatno posljedica učinka teških metala prisutnih u uzorcima vode rijeke Ilove (Glińska i drugi, 2007).



Slika 3. Dužina korjenčića luka nakon 48h izlaganja i mitotski indeks (MI) u stanicama luka nakon 24h izlaganja uzorcima vode rijeke Ilove – IL1, IL2, IL3 ili na podlozi bez uzoraka voda – K (kontrola). Kao pozitivna kontrola korišten je 5 mM etilmetansulfonat (EMS). Na stupcima je označena standardna devijacija. Stupci označeni različitim slovima statistički se značajno razlikuju od kontrole ($p < 0,05$).

U *Tablici 4*. prikazane su srednje vrijednosti broja i postotka kromosomskih aberacija zabilježenih u stanicama korjenčića luka nakon izlaganja testnim vodama iz tog perioda. Najveći prosječni broj kromosomskih aberacija u meristemskim stanicama luka izazvao je uzorak vode rijeke Ilove IL3 (29,6%). Uzorci vode rijeke Ilove IL1 i IL2 uzrokovali su nešto manji broj aberacija (13,3 odnosno 14,6%) u odnosu na uzorak IL3. U pozitivnoj kontroli (5 mM EMS) zabilježeno je 35,3% mitotskih i kromosomskih nepravilnosti. Najčešći tip aberacija u stanicama luka izloženim uzorcima vode rijeke Ilove je bilo sljepljivanje kromosoma a potom pojava *c*-metafaza i zaostalih kromosoma. Dokazano je da se fluoridi mogu kovalentno vezati na DNA, uzrokujući time strukturne poremećaje DNA (Wang i drugi, 1997). Mutagenost otpadnih voda iz industrijskog postrojenja „PETROKEMIJA“ d.d. utvrđena je i upotrebom Ames-testa (Durgo i drugi, 2009). Najvjerojatniji razlog takovih učinaka je kompleksni sastav voda koje sadrže visoke koncentracije fluorida i teških metala. Obzirom da se rijeka Ilova nalazi u blizini istog industrijskog postrojenja, vjerojatno su isti toksikanti uzrokovali mutagenost i u pojedinim uzorcima rijeke Ilove.

		Poremećena funkcija diobenog vretena			Promjene u strukturi kromosoma	Promjene u strukturi kromatina		
Uzorak	Broj stanica u diobi	*c* -metafaza	Zaostali kromosomi	Multipolarno vreteno	Lomovi	Anafazni mostovi	Sljepljeni kromosomi	% aberacija
K	288	1	2	0	0	2	2	2,4
EMS	154	14*	6*	2	10**	6*	17**	35,3
IL1	150	5	5*	1	0	1	8	13,3
IL2	123	7*	1	0	1	0	9*	14,6
IL3	125	9*	6*	1	0	3	18**	29,6

*p < 0.05, **p< 0.01.

Tablica 4. Mitotske i kromosomske nepravilnosti u stanicama korijena luka izloženog 24 h vodi rijeke Ilove uzorkovane (IL1), (IL2) i (IL3). Kao pozitivna kontrola korišten je 5 mM EMS (etilmetansulfonat).

ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati ukazuju na prisutnost cito- i genotoksičnih tvari u uzorkovanoj vodi i indiciraju potencijalan rizik za sve žive organizme. Toksičnost i genotoksičnost uzoraka rijeke Ilove, posebice IL2, vjerojatno je uzrokovana povišenim koncentracijama fluorida i pojedinih teških metala. Ovo je istraživanje također pokazalo da bi, uz klasične fizikalno-kemijske parametre, i testovi toksičnosti i genotoksičnosti poput Allium- i Lemna-testa trebali biti uključeni u rutinske analize praćenja kvalitete kopnenih voda.

LITERATURA

[1] Allan, I.J., Vrana, B., Greenwood, R., Mills, G.A., Roig, G., Gonzalez, C. (2006): *A "toolbox" for biological and chemical monitoring requirements for the European Union's Water Framework Directive*. Talanta, 69, 302-322.

[2] Arnon, D.I. (1949): *Copper enzymes in isolated chloroplast: polyphenoloxidase in Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24, 1-15.

[3] Durgo, K., Oreščanin, V., Lulić, S., Kopjar, N., Želježić, D., Franekić Čolić, J. (2008): The assessment of genotoxic effects of wastewater from a fertilizer factory. Journal of Applied Toxicology, 29, 42–51.

[4] Fodor, F. (2002): *Physiological responses of vascular plants to heavy metals*, Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants (Urednici - Prasad, MNV, Strzałka, K), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 149-177.

[5] Glińska, S., Bartczak, M., Oleksiak, S., Wolska, A., Gabara, B., Posmyk, M., Janas, K. (2007): *Effects of anthocyanin-rich extract from red cabbage leaves on meristematic cells of Allium cepa L. roots treated with heavy metals.* Ecotoxicology and Environmental Safety, 68, 343–350.

[6] Lichtenthaler, H.K. (1987): *Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes*. Methods in Enzymology, 148, 350-382.

[7] Oreščanin, V, Lovrenčić, I, Mikelić, L, Lulić, S (2008): *Applicability of MiniPal 4 compact EDXRF spectrometer for soil and sediment analysis*. X-ray spectrom, 37, 508–511.

[8] Rank, J, Nielson, MH (1993): *A modified Allium test as a total in screening of the genotoxicity of complex mixture*. Hereditas, 118, 49-53.

[9] Steinberg, R (1946): *Mineral requirement of Lemna minor*. Plant Physiology, 21, 42-48.

[10] Wang, G.Q., Huang, Y.Z., Xiao, B.Y, Qian, X.C., Yao, H., Hu, Y., Gu, Y.L., Zhang, C., Liu, K.T. (1997): *Toxicity from water containing arsenic and fluoride in Xinjiang*. Fluoride, 30, 81-84.

AUTORI

doc.dr.sc. Sandra Radić Brkanac[a]
mr.sc. Draženka Stipaničev[b]

[a] Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Rooseveltov trg 6/III, 10000 Zagreb, Hrvatska, *sandra@zg.biol.pmf.hr*

[b] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, *drazenka.stipanicev@voda.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.35.

ANALIZA TEMPERATURE VODE RIJEKA DRAVE I DUNAVA

Lidija Tadić, Anamarija Grgurovac, Marija Šperac

SAŽETAK: Posljednjih desetak godinaklimatske promjene postale su sastavni dio znanstvenih i stručnih rasprava pri čemu su još uvijek velike dvojbe o tome jesu li presudni antropogeni utjecaji ili se radi prirodnim promjenama. Najviše se piše o ekstremnim hidrološkim pojavama, poplavama i sušama, jer imaju velike socijalne i ekonomske posljedice. Međutim, manje su poznate promjene vezane uzporast temperature vode rijeka, a koje su također mogu biti posljedica klimatskih promjena, ali i ljudskih aktivnosti. Promjena temperature vode može značajno utjecati na okoliš, prvenstveno biosferu. U radu će se prikazati promjene temperature vode Drave izmjerene na hidrološkim postajama Donji Miholjac i Terezino Polje u razdoblju od 1996-2005. godine i Dunava na temelju mjerenja provedenih na hidrološkoj postaji Vukovar od 2002-2005.godine. Analize obuhvaćaju srednje godišnje temperature vode navedenih rijeka i njihovu korelaciju s temperaturama zraka, protokama i njihovu međusobnu korelaciju.

KLJUČNE RIJEČI: temperatura vode, temperatura zraka, protok, Drava, Dunav

WATER TEMPERATURE ANALYSIS OF DRAVA AND DANUBE RIVERS

SUMMARY: In the last decade climate change became one of the topics in the scientific and professional discussions with still a doubts about its driving force – is it human influence or natural phenomenon. The most common problems related climate change are extreme hydrological events - droughts and floods, because of their large social and economic effects. Much less known are problems of increasing water temperature which can also be result of human activities or natural cycles. Change of water temperature can have very significant impacts on environment, especially its aquatic part.

This paper deals with data of water temperature, measured on two hydrological stations – Donji Miholjac and Terezino Polje on Drava River in the period from 1996-2005. Also, data measured on Danube River on one hydrological station in Vukovar, in the period from 2002 to 2005 are considered. Analysis are made on the basis of mean annual water temepratures and their correlation with air temeperatures and discharges and the correaltions betweenadjacent hydrological stations.

KEY WORDS: water temperature, air temperature, discharge, Drava, Danube

1. UVOD

Posljednjih desetak godina istraživanja promjena temperature vode i njezina ovisnost o temperaturi zraka i protokama postaju sve češća. Značenje takovih istraživanja može biti višestruko, prvenstveno sa stajališta uočavanja mogućih antropogenih utjecaja na temperaturu vode i biološke karakteristike vodotoka (floru i faunu), ali i prirodnih promjena, prvenstveno izazvanih utjecajemtemperature zraka. Temperatura vode važan je indikator kvalitete akvatičnih ekosustava jer je većina fizikalnih i biokemijskih procesa u vodi u funkciji temperature. Analiza dinamike temperature vode u odnosu na protok i meteorološke karakteristike područja bitna je za kontrolu kvalitete vode i zaštitu vodnih staništa. Promjena temperature vodnog tijela rezultat je neto ulaza topline iz zraka i njezinog izlaza u specifičnim hidrauličkim i meteorološkim uvjetima. Pri tom meteorološke uvjete čini prvenstveno temperatura zraka, a potom i svi ostali meteorološki parametri: vlažnost zraka, vjetar i Sunčevo zračenje. Značenje ovih parametara i njihov utjecaj na temperaturu vode, odnosno njihove modifikacijska uloga u prijenosu topline zraka na vodno tijelo nije sasvim istražena. Hidraulički parametri su protok, geometrijske karakteristike vodotoka (širina, dubina, dužina promatrane dionice, uzdužni pad vodotoka i njegova hrapavost) i njihov utjecaj je još veća nepoznanica (1).

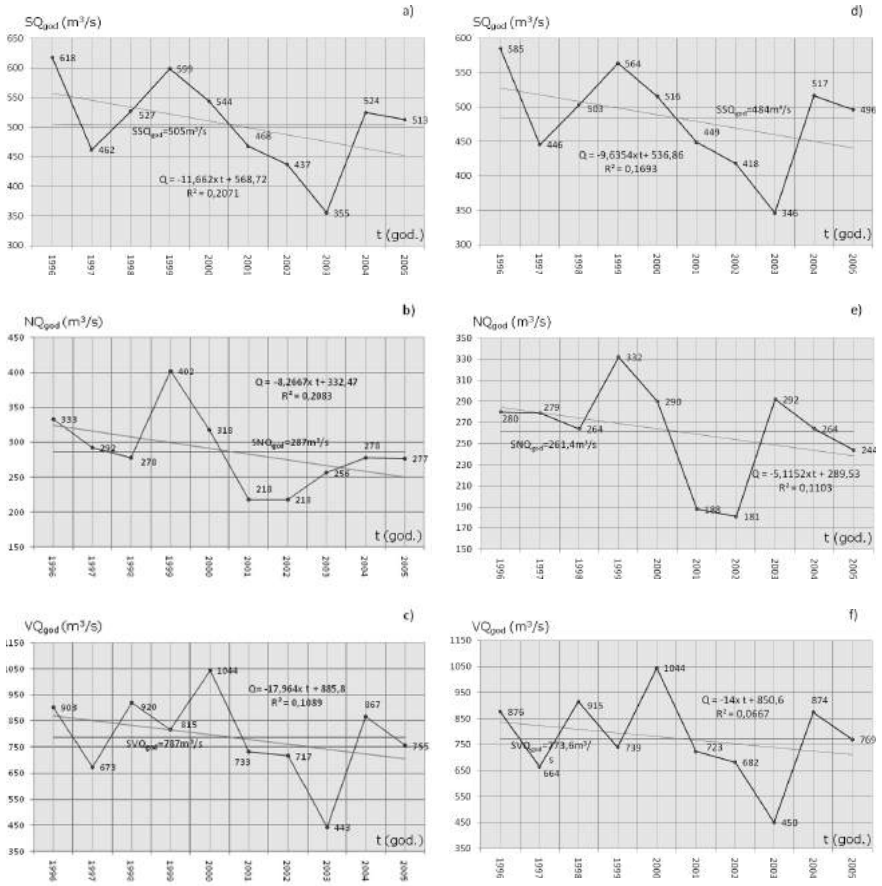
Istraživanja temperature u svijetu intenzivnije su počela 70-ih godina i dobiveni su sljedeći rezultati:na rijeci Oregon u SAD, srednja dnevna temperatura opada za 1% ako se dnevni protok poveća za 30% (Morse, 1972), na rijeci Hurunui, u Novom Zelandu, temperatura vode naraste za 0,1^{o}C po svakom m^{3}/s smanjenja protoka (Hockey et al, 1982), promjena temperature vode u ovisnosti o promjeni protoka primjenjiva je samo kod protoka većih od 10 m3/s (Grant, 1977) itd. Pri tom promjene temperature vode mogu biti prirodne, ali i inducirane antropogenim aktivnostima, kao npr. ispuštanjem rashladne vode iz toplana ili nuklearnih elektrana. Analize temperature u Europi, primjerice na Dunavu kod Bratislave, pokazala su da u razdoblju od 1926-2005. godine, nije došlo do značajnijih promjena u režimu protoka i temperatura vode što se objašnjava brojnim promjenama uzrokovanih radom čovjeka (Bonacci i drugi ,2009). Problem s kojim su se susreli svi koji su izučavali ovaj problem je vrlo mali broj hidroloških postaja na hrvatskim rijekama na kojima se uopće prati temperatura voda čime je mogućnost istraživanja utjecaja temperature zraka na temperaturu vode pojedinih rijeka sa specifičnim hidrauličkim karakteristikama znatno ograničena.

Na Savi su to dvije postaje, u Zagrebu i Slavonskom Brodu, na Dravi su 3 postaje - Botovo, Terezino Polje i Donji Miholjac, a na Dunavu je u Hrvatskoj samo jedna postaja i to u Vukovaru. Dodatni problem stvara i činjenica da je udaljenost tih postaja velika između Zagreba i Slavonskog Broda oko 300 km, a udaljenost postaja na Dravi oko 80 km. Drugi veliki problem je nedostatak praćenja temperature vode na malim rijekama, kod kojih su zbog malih protoka, posebice u ljetnim mjesecima utjecaji visokih temperatura zraka od velikog značenja. Dosadašnja istraživanja koja su provedena u Hrvatskoj ukazuju na porast temperature zraka i vode, pri čemu su izraženiji porasti srednjih i minimalnih godišnjih temperatura nego maksimalnih, a prijelomna godina je 1988, nakon koje je porast temperature izrazitiji. Također je potvrđena čvrsta veza između temperatura zraka i vode (Bonacci drugi, 2008). Analize protoka i klimatskih veličina sliva Drave, pokazuje trend zatopljenja od početka 20. stoljeća, pa do 2008.godine. Porast srednjih godišnjih temperatura postaje izrazitiji od 1997.godine što zajedno s negativnim trendom srednjih godišnjih protoka ima utjecaj i ne

temperaturu vode (Gajić-Čapka i Cesarec, 2010). U okviru ovog rada analizirani su podatci o protokama, temperaturama zraka i temperaturama vode izmjerenim na hidrološkim postajama Terezino Polje i Donji Miholjac u desetogodišnjem razdoblju (1996-2005.), na rijeci Dravi i hidrološkoj postaji Vukovar na Dunavu od 2002-2005 .

2. PROTOCI DRAVE I DUNAVA

Karakteristični protoci rijeke Drave u analiziranom razdoblju, koje je kratko, pokazuju iste karakteristike u odnosu na analize provedene za puno duže razdoblje (1962-1993) (Brezak, 2002). Svi karakteristični protoci, srednje, maksimalni i minimalni pokazuju negativni trenda, od kojih je najizrazitiji negativni trend maksimalnih godišnjih protoka na obje analizirane postaje, Donji Miholjac i Terezino Polje.

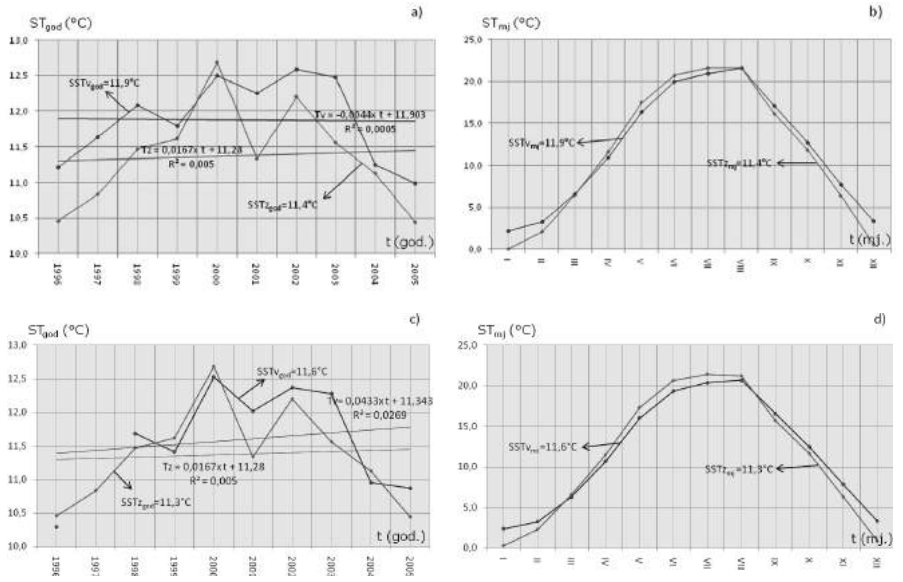


Slika 1. Protoci Drave izmjereni na vodomjernoj postaji Donji Miholjac u razdoblju 1996.-2005. s ucrtanim pravcem regresije za: a) niz srednjih godišnjih protoka, b) niz minimalnih godišnjih protoka, c) niz maksimalnih godišnjih protoka. Protoci Drave izmjereni na vodomjernoj postaji Terezino Polje u razdoblju 1996.-2005. s ucrtanim pravcem regresije za d) niz srednjih godišnjih protoka, f) niz minimalnih godišnjih protoka, g) niz maksimalnih godišnjih protoka.

Na postaji Donji Miholjac smanjenje protoka je kreće se od 8-17 $m^3/s/god$ i najveće je kod velikih voda, a najmanje kod malih voda (slike 1a,1b i 1c), a na postaji Terezino Polje od 5-16 $m^3/s/god$ i također je najveće je kod velikih voda i najmanje kod malih voda (slike 1d,1e,1f). Na ovaj 10-godišnji niz podataka primijenjena je i RAPS metoda (Rescaled Adjusted Partial Sums) i ona je pokazala dva homogena podniza s prijelomnom točkom 2003. godine. Pri čemu je izraziti pad protoka u razdoblju od 1996-2003., a manje izrazit od 2003-2005. Iako je ovaj niz vrlo kratak, dobiveni rezultati su očekivani jer je 2003.godina bila izrazito sušna godina s godišnjom oborinom manjom od 400 mm. Slična je slika i protoka mjerenih na Dunavu kod Vukovara, ali s kraćim nizom opažanih podataka.

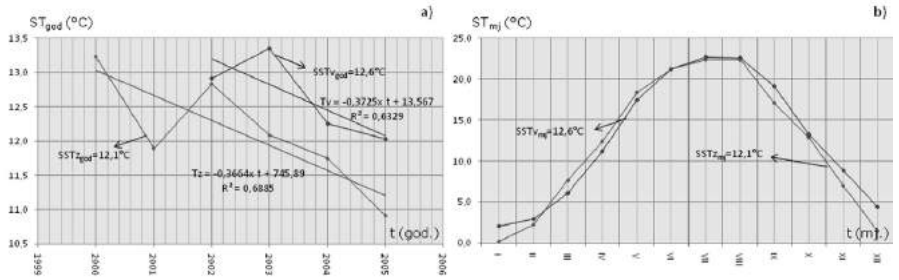
3. TEMPERATURE ZRAKA I VODE

Povezanost temperature zraka i temperature vode vrlo je velika što su pokazala sva dosadašnja istraživanja (slike 2b i 2d). Isto tako je evidentan blagi porast temperature zraka na godišnjoj razini što se reflektiralo i na temperature vode. Srednje godišnje temperature zraka i vode pokazuju blagi uzlazni trend, pri čemu je na uzvodnoj postaji Terezino Polje on izrazitiji (slike 2a i 2c). Srednja godišnja temperatura zraka u Donjem Miholjcu iznosi T_z=11,4 °C, a rijeke Drave T_v=11,6 °C. U Terezinom Polju su srednje godišnje temperature zraka i vode neznatno niže, T_z=11,3 °C, a T_V=11,6°C.



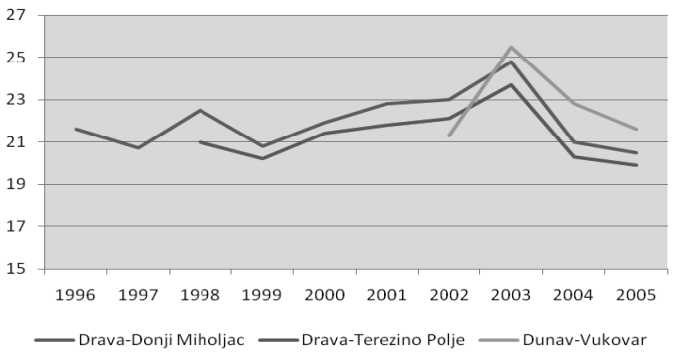
Slika 2. Temperature vode i zraka izmjerene na vodomjernoj postaji Donji Miholjac u razdoblju 1996. - 2005. za: a) niz srednjih godišnjih temperatura vode i zraka sa ucrtanim pravcem regresije, b) srednje mjesečne temperature vode i zraka. Temperature vode i zraka izmjerene na vodomjernoj postaji Terezino Polje u razdoblju 1996. - 2005., c) niz srednjih godišnjih temperatura vode i zraka sa ucrtanim pravcem regresije, d) srednje mjesečne temperature vode i zraka.

Na hidrološkoj i meteorološkoj postaji Dunav opažani rezultati pokazuju suprotne trendove, što se djelomično može pripisati vrlo kratkom nizu podataka, za temperature vode od 2002-2005. godine, a za temperature zraka od 2000-2005. godine. Tu su i temperature zraka i temperature vode u izrazitom padu (slike 3a i 3b), ali su srednje godišnje vrijednosti veće nego na postajama na Dravi i iznose T_z=12,1 °C, a T_V=12,6°C.



Slika 3. Temperature vode i zraka izmjerene na vodomjernoj postaji Vukovar u razdoblju 2002. - 2005. Za: a) niz srednjih godišnjih temperatura vode i zraka sa ucrtanim pravcem regresije, b) srednje mjesečne temperature vode i zraka.

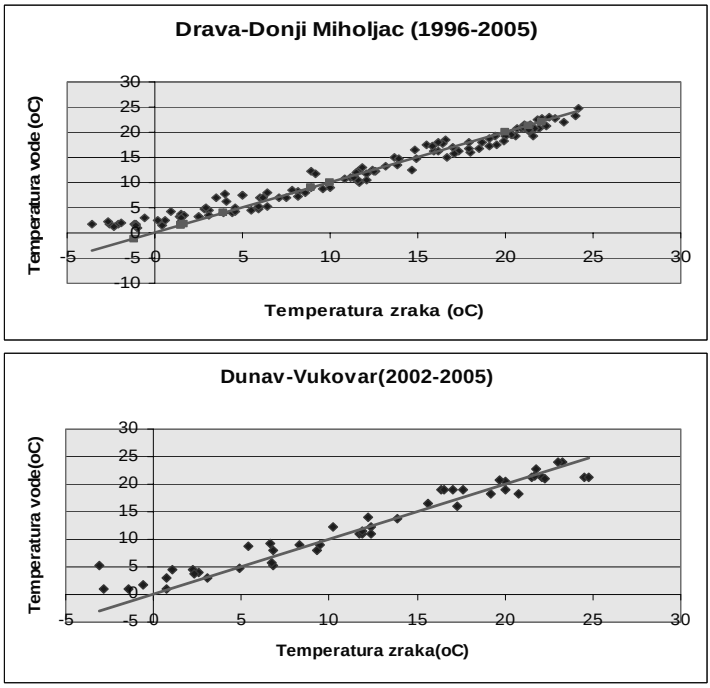
S aspekta zaštite okoliša osobito su značajne maksimalne temperature zraka, koje mogu imati značajne posljedice na vodni ekosustav. Za obje rijeke 2003. godina je, osim u pogledu protoka, i u pogledu temperatura vode bila ekstremna. Zabilježene su maksimalne godišnje temperature vode i to na sve tri analizirane postaje. Maksimalna godišnja vrijednost temperatura vode rijeke Drave iznosi T_V=24,8°C kod Donjeg Miholjca, nešto manja temperatura vode, T_V=23,7°C je kod Terezinog Polja, a na Dunavu kod Vukovara 2003. godine jezabilježena maksimalna godišnja temperatura vode, T_V=25,5°C, (slika 4).



Slika 4. Maksimalne godišnje temperature vode na Dravi i Dunavu u analiziranim razdobljima

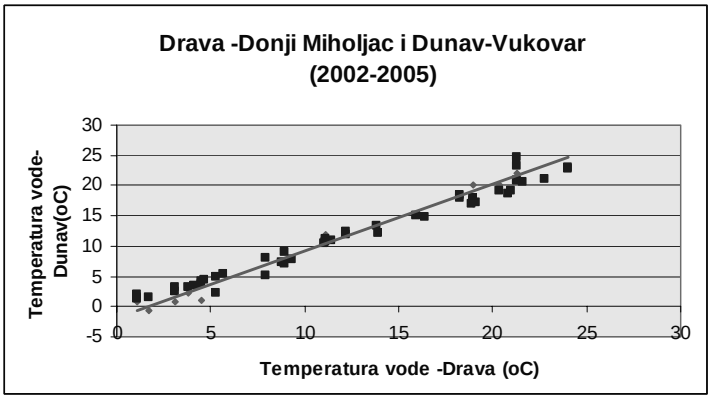
Korelacije srednjih mjesečnih temperatura zraka i vode za Dravu i Dunav prikazane su na slici 5. One su očekivano vrlo čvrste. Kod Drave r=0,97, a kod Dunava r=0,95. Odstupanja su izrazitija na niskim temperaturama, kada u zimskim mjesecima srednja

mjesečna temperatura zraka dođe u područje negativnih vrijednosti. Isto tako korelacija temperatura zraka i vode raste s povišenjem temperatura zraka, odnosno osjetljivost na promjene temperature vode se povećava porastom temperature zraka.



Slika 5. Korelacije srednjih mjesečnih temperature zraka i vode za Dravu i Dunav

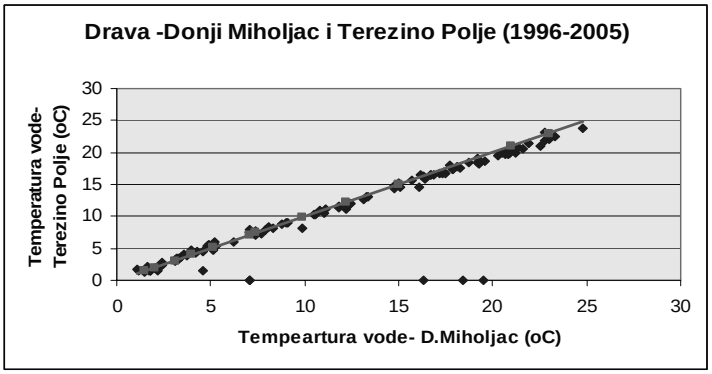
Također je čvrsta korelacija između temperatura vode Dunava i Drave (r=0,97) prikazan na slici 6. Što nije sasvim očekivano zbog velikih razlika u protokama Drave i Dunava, a time i toplinske inercije – veći volumen vode mijenja svoju temperaturu mnogo sporije. Naime, prema nekim provedenim istraživanjima (Gu i Li, 2002) promjena temperature vode u odnosu na promjenu protoka vrlo je izrazita pri manjim protokama, do najviše 200 m^3/s, bez obzira radi li se o niskim ili visokim temperaturama. To znači dasmanjenje temperature vode, kao posljedica temperature zraka, postaje zanemarivo kada protoci postanu veliki, odnosno uspostavlja se konstantan odnos temperature vode i protoka. Za potvrdu ovih rezultata odabrane rijeke nisu pogodne zbog protoka koji nikada nisu ispod navedene granične vrijednosti.



Slika 6. Korelacije srednjih mjesečnih temperatura vode za Dravu i Dunav

Znatno je manja korelacija temperatura vode (slika 7) izmjerenih u Terezinom Polju i Donjem Miholjcu na rijeci Dravi (r=0,83). Ova pokazatelj nužno je dalje provjeriti detaljnijim analizama osjetljivosti na dužim vremenskim nizovima. Pretpostavka je da su u ovom slučaju važne različitosti u hidrauličkim karakteristikama Drave na ove dvije vodomjerne postaje, međusobno udaljene oko 80 km, što u ovom radu nije razmatrano.

Razlike su u geološkoj podlozi, Drava kod Terezinog Polja protječe kroz aluvij šljunka i time ima izrazitiju povezanost s režimom podzemnih voda, dok su u nizvodnom toku dominantne slabo propusne glejne naslage. Hrapavost dna rijeke, brzina strujanja i pad korita Drave kod Terezinog polja su veće nego u nizvodnom toku kod Donjeg Miholjca. Isto tako se može reći da je na donjem toku antropogeni utjecaj veći, prvenstveno provedbom regulacijskih radova.



Slika 7. Korelacije srednjih mjesečnih temperatura vode za Dravu kod Donjeg Miholjca i Terezinog Polja

ZAKLJUČAK

U radu su analizirane temperature vode rijeka Drave i Dunava na temelju podataka opažanih na dvije hidrološke postaje na Dravi u razdoblju od 1996-2005. godine i jednoj na Dunavu u razdoblju od 2002-2003. Opažanja su potvrdila temeljne rezultate istraživanja koja su provedena u Hrvatskoj ili inozemstvu, a odnose se na čvrstu povezanost temperature zraka i vode, kao i povezanost temperature vode i protoka.Povećanje temperature zraka, kao rezultat globalnog zatopljenja koje je više puta potvrđeno raznim istraživanjima i ovdje se potvrđuje na rijeci Dravi, a time i povećanje temperature vode.

Istraživanja temperature vode postaju sve važnija, posebice u okviru zaštite okoliša i analize antropogenih utjecaja na vode, te će se u tom smjeru istraživanja i nastaviti.

LITERATURA

[1] Bonacci,O.,Trninić,D., Roje-Bonacci,T.(2008): Analiza odnosa temperature zraka i vode na nekoliko većih rijeka u kontinentalnom dijelu Hrvatske, Hrvatske vode, Vol. 62, 7-20

[2] Bonacci,O.,Pekárova,P.,Miklánek,P. (2009): Analiza dugih vremenskih nizova protokai temperature vode Dunava kod Bratislave (Slovačka),Hrvatske vode, Vol.68 103-112

[3] Gajić-Čapka,M.,Cesarec,K.(2010): Trend i varijabilnost protoka i klimatskih veličina u slivu rijeke Drave, Hrvatske vode, Vol.71,19-30

[4] Grant,p.J.(1977):Water temperatures of the Ngaruroro River at three stations, Jornal of Hydrology, Vol.16,148-157

[5] Gu,R.R., Li,Y.(2002):River temperature sensitivity to hydraulic and meteorological parameters, Journal of Environmental Management, Vol.66, 43-56

[6] Hockey, J.B., Owen, I.F., Tapper, N.J.(1982): Empirical and theoretical models to isolate the effect of discharge on summer water temperatures in the Hurunui River, Journal of Hydrology, Vol.21, 1-12

[7] Morse,W.L.(1972):Stream temperature prediction under reduced flow, Journal of Hydraulics Division, Vol. 98. 1031-1047

AUTORI

Prof.dr.sc.Lidija Tadić[a]
Anamarija Grgurovac, dipl.ing.građ[b].
doc.dr.sc. Marija Šperac [c]

[a] Građevinski fakultet Osijek, Crkvena 21,31000 Osijek, Hrvatska, *ltadic@gfos.hr*

[b] Građevinski fakultet Osijek, Drinska 16a,31000 Osijek, Hrvatska, *agrgurovac@gfos.hr*

[c] Građevinski fakultet Osijek, Drinska 16a,31000 Osijek, Hrvatska,*msperac@gfos.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.36.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF LAKE VRANA ON THE ISLAND OF CRES

Mladen Kuhta, Željka Brkić

SUMMARY: Lake Vrana on the island of Cres in the Croatian part of the Adriatic Sea is one of the largest fresh water features on Mediterranean islands. The paper provides an overview of groundwater and lake temperature measurements to date and recent activities within the project "Climate Change and Impacts on Water Supply" (CC-WaterS, SEE-TCP). Groundwater temperatures measured in boreholes are almost constant throughout the year, mildly dropping according to the depth, in the range from 14.6 to 13.1 °C. The temperature of the lake water changes throughout the year, and extreme thermal stratification occurs at the end of summer. In the water layer above the thermocline, water temperature can reach up to 25 °C or more. At the same time, based on conducted measurements, water temperature is very low in the hypolimnetic area and, depending on annual climate characteristics, ranges from 6.5 to 9.3 °C. In the isothermal period, which lasts from 2 to 3 months, the whole water mass has a homogenous temperature within 4.65 to 8.9 °C recorded range. Earlier collected data of lake water temperatures are rare and insufficient for analyses of a potential impact of climate changes.

KEYWORDS: Vrana Lake, Cres, karst, water temperature

TEMPERATURNE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA NA OTOKU CRESU

SAŽETAK: Vransko jezero na otoku Cresu jedno je od najvećih otočnih slatkih jezera na Mediteranu. U radu su prikazani rezultati dosadašnjih mjerenja temperature podzemne i jezerske vode kao i aktivnosti koje se trenutno izvode u sklopu projekta "Klimatske promjene i utjecaji na vodoopskrbu" (CC-WaterS, SEE-TCP). Temperature podzemne vode izmjerene u bušotinama gotovo su konstantne kroz cijelu godinu, blago opadajući s dubinom kreću se o rasponu od 14,6 do 13,1 °C. Temperature jezerske vode mijenjaju se tijekom godine, a krajem ljeta javlja se izrazita termalna stratifikacija. U sloju vode iznad termokline temperatura vode može dosegnuti 25 pa i više ºC. Istovremeno u području hipolimnija temperature vode vrlo su niske i prema prikupljenim podacima, ovisno o karakteristikama godine kreću se u rasponu od 6,5 do 9,3 °C. U razdoblju izotermije koje traje 2 do 3 mjeseca, cjelokupna vodena masa ima ujednačenu temperature u zabilježenom rasponu od 4,65 do 8,9 °C. Prikupljeni stariji podaci o temperaturama jezerske vode vrlo su malobrojni i nisu dostatni za analizu eventualnog utjecaja klimatskih promjena.

KLJUČNE RIJEČI: Vransko jezero, Cres, krš, temperatura vode

1. INTRODUCTION

Lake Vrana on the island of Cres is a unique hydrogeological and hydrological karst phenomenon and an invaluable water resource as well. It is situated in the north-eastern part of the narrow island of Cres, which extends in the NW- SE direction. The lake is 5 km long, with the maximum width of 1.45 km. The surface of the lake is 5.5 km^2 at the average altitude of 12.81 m a.s.l. The average depth of the lake is around 40 m, with the largest depth of 74.1 m (for mean level). The lake stores 220 million m^3 of fresh water. Since it is situated on an island, the sea is only 3 to 6 km away. The deepest point in the lake is 61.3 m below the sea level. The land form surrounding the lake and its present hydrogeological function are consequences of exodynamic processes that took place in the past under significant influence of changes in both climate and sea levels.

Due to its exceptionally good water quality, the lake is used for water supply of the islands Cres and Lošinj (average abstraction rate in 2009 72.2 L/s) and is the only source of potable water for these tourism intensive islands. The lake's extremely low water level of 9.11 m a.s.l. recorded in 1990 caused great concern among professionals and water users as to the lake's future and was the reason behind a comprehensive research program. As a part of this hydrogeological research, monitoring of groundwater and lake temperature was established in 1995, and continued until 2002. Monitoring results were elaborated in several professional and published papers (Biondić et al, 1998; Mesić & Kuhta, 2001; Kuhta, 2002, 2004). Almost 10 years later, these activities were resumed within the project "Climate Change and Impacts on Water Supply" (CC-WaterS) funded by the South East Europe - Transnational cooperation programme.

2. CLIMATE CONDITIONS OF THE AREA

The climate of the island of Cres is predominantly of the Mediterranean type, although strongly influenced by the high orography of the Gorski Kotar region, Dinaric mountain range and continental climate. According to data from the meteorological station Cres, this is representative of average climate conditions in the catchment area of Lake Vrana (Gajić-Čapka et al, 2010). The annual cycle of air temperature monthly averages is well defined, with the maximum in June (23.7 ºC) and July (23.2 ºC) and the minimum in January (5.9 ºC). Such annual cycle is characteristic of the maritime type with autumn (September, October, November - SON) warmer than spring (March, April, May - MAM). The average annual air temperature is 14.3 ºC.

	AIR TEMPERATURE (ºC)					**PRECIPITATION** (mm)				
	Annual	DJF*	MAM	JJA*	SON	Annual	DJF*	MAM	JJA*	SON
Avg	14,3	6,6	12,9	22,6	15,1	1053,6	290,5	233,5	198,0	338,8
Stdev	0,4	1,1	0,9	0,7	0,9	194,2	124,3	61,3	83,4	124,7
Max	15,3	8,4	14,6	23,8	16,8	1366,5	612,2	400,3	429,0	573,3
Min	13,5	3,4	11,0	21,4	13,3	732,0	58,6	108,4	60,4	124,8

* DJF-December, January, February; JJA-June, July, August

Table 1: Basic statistics for annual and seasonal mean air temperatures and precipitation amounts for Cres, 1961-1990 (source: Gajić-Čapka et al, 2010).

The precipitation variations confirm that the annual cycle of the island of Cres is of the maritime type. The lowest precipitation amount occurs during the warm period of the year (April to September), with the minimum in July (53 mm). During the cold half-year (October to March), it receives 57 % of the annual total, and the maximum occurs in November (136 mm). The basic statistics for the annual and seasonal mean air temperatures and precipitation amounts at the meteorological station Cres for the period 1961-1990 are given in Table 1.

3. GROUNDWTER TEMPERATURE VARIATIONS

The groundwater in the boreholes has an almost constant temperature throughout the year. During the observation period, the temperature oscillations in each observation point (in 5 m intervals) ranged from 0.2 to 0.4 °C. The total mean temperature ranged from 14.6 to 13.1 °C, with an average value of 13.8 °C, i.e. about 0.5 °C lower than the average annual air temperature in the area (14.3 °C, Tab. 1).

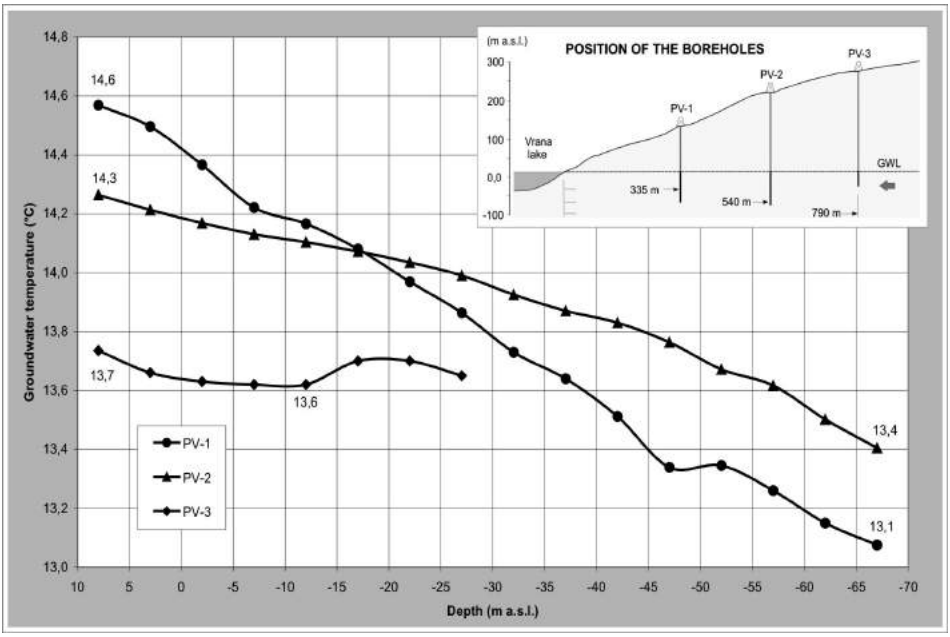


Fig. 1: Distribution of mean groundwater temperatures according to the depth of the boreholes PV-1, PV-2 and PV-3 on the eastern bank of Lake Vrana.

The groundwater temperatures in the first 20 meters below the water table level (GWL on Fig. 1) decreased with the distance from the lake and the thickness of the unsaturated zone. A significant reverse geothermal gradient was determined in the boreholes PV-1 and PV-2 (PV-3 was too shallow). This phenomenon could be a consequence of thermal convection of the cold lake water.

4. TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF THE LAKE

Based on the measurements to date, it can be stated that Lake Vrana is a typical example of a medium depth lake in the moderate climate belt (which does not freeze in winter). The established development of thermal stratification during the year and isothermal conditions at the end of winter confirm that the lake's environment is of monomictic nature, i.e. entire water mass of the lake mixes once a year.

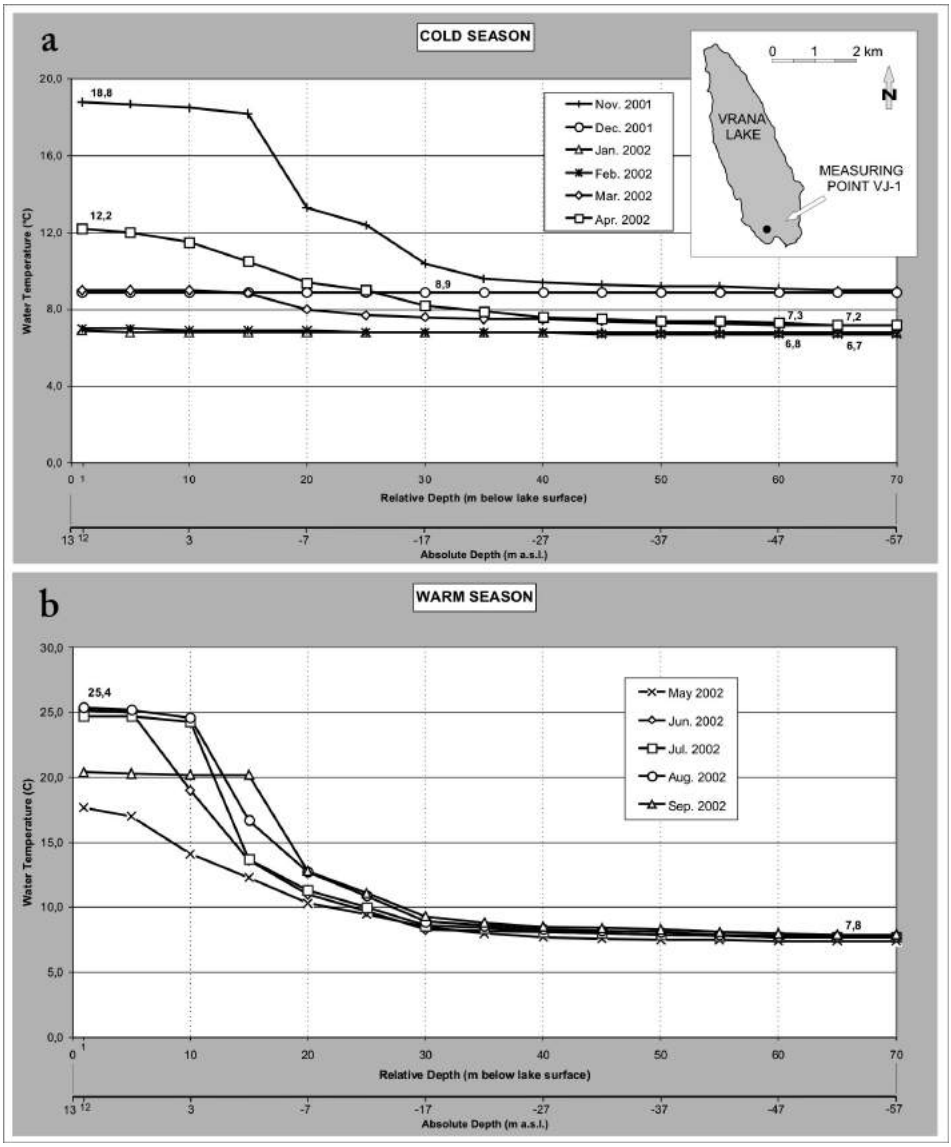


Fig. 2: Characteristic curves of the lake water temperature for the observation period October 2001 - November 2002; a) lake cooling period, b) lake heating period

The annual thermal cycle of the lake is presented by the characteristic curves of changes in water temperature according to the depth, measured at the measurement profile VJ-1 located in the deepest part of the lake, at its southern bank (Fig. 2a). Since the differences registered at other measurement profiles were within the margins of accuracy for the used instruments (±0.15 °C), it can be stated that the data measured at the profile VJ-1 are adequately representative of the conditions prevalent for the entire lake. The overview is based on monthly measurements conducted in the period from October 2001 to November 2002.

The heating of the lake's upper layer (epilimnium) begins at the end of winter or beginning of spring (March - April). A gradual increase in temperature of the surface water layer leads to an increasingly more marked, larger temperature difference from the lake's deeper layers (hypolimnium). The separation area, i.e. the thermocline is characterized by a significant temperature gradient (recorded changes of up to 5 °C/m). The position of the thermocline changes and is most frequently at the depths between 10 and 20 m. The highest temperatures in the epilimnic area occur during June, July and August, when the first ten meters of the water are heated to an average of 25 °C (Fig. 2b). The hypolimnetic area is also exposed to gradual heating, but here the changes are much slower and of lesser scope, so that in the observed period during the heating cycle the temperature at the bottom of the measurement profile VJ-1 increased from 6.7 °C in February to 7.9 °C in September 2002, i.e. by only 1.2 °C.

The first signs of cooling of the lake occur already in September and intensify during October and November. In December, conditions are usually met for complete isothermy of the lake water, which lasts for about 3 months. During the observation period, the homogenous temperature of the lake water according to the entire depth of the water column ranged from 8.9 °C in December 2001 to over 6.8 °C in January and to 6.7 °C in mid-February 2002 (Fig. 2a). Same as the summer maximums, the temperatures of winter isothermy depend on climate characteristics of a particular year.

5. A LOOK AT THE IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGES

The global increase in temperature caused by pollution of the earth's atmosphere and the related greenhouse effect are becoming a widely accepted fact. Since these are gradual changes, their recording requires multi-annual series of systematically collected data, which, as should be noted, do not exist for Lake Vrana. What is available are the results of measurements conducted in the period from the early to mid-20th century, the results of occasional measurements in the period from 1995 to 2002 and the recent data collected within the CC-WaterS project. Since water temperatures in the hypolimnic area, particularly if measured in the isothermal period, reflect to some extent the climate characteristics of the entire annual cycle, a comparison of available data was carried out in an attempt to arrive at some indications as to the impact of global temperature changes.

The first data on water temperatures in Lake Vrana were published by Gavazzi (1902) and relate to measurements conducted in 1900 and 1901. Since these measurements were only conducted in the upper layer of the lake's water, down to the depth of 16 m, these data are not used in our analysis. Measurements according to the entire depth of the water column were conducted by Morton (1933), Nümann (1949) and Petrik (1960), who also quoted

in his work the results of earlier mentioned researchers. The collected archive data and the results of more recent measurements are presented in Table 2, and are only related to water temperatures in the hypolimnetic area, i.e. at depths below 40 m.

Based on the presented results, it can be seen that the temperatures of lake water after the winter cooling period are in all 3 earlier measurement sets lower that those recorded in the period from 1996 to 2002. The minimum difference is between the measurements by Nümann in March 1941 and our measurements in February 2002, in the range from 0.3 to 0.5ºC. When the measurements by Petrik in March 1956 (lowest recorded values) are compared with our data from March 1997 (highest recorded values), the maximum temperature difference is as large as 3.45 ºC.

Measurements	Morton	Nümann		Petrik	
Date	Apr. 1931.	Mar. 1941.	Aug. 1941.	Mar. 1956.	Jul. 1956.
Temp. ºC	6,08	6,2 - 6,4	8,2 - 9,3	4,45 - 4,6	6,5 - 6,9

IGI – Croatian Geological Survey (Kuhta)								
Mar. 1996.	Aug. 1996.	Mar. 1997.	Sep. 1997.	Mar. 2000.	Aug. 2000.	Feb. 2002.	Aug. 2002.	Feb. 2011.
7,1	7,6 - 7,8	7,9	8,5 - 8,9	7,4 - 7,5	8,5 - 8,8	6,7	7,8 - 8,5	7,7

Table 2: Overview of water temperatures in Lake Vrana measured in the hypolimnetic area, i.e. at depths below 40 m

Looking at the above data, it can be stated that today's minimum temperatures of the lake's water are generally higher than those recorded 50 or more years ago. This, however, is by no means an indicator of the impact of global climate changes, since data are insufficient and temporally far apart, and since the recorded conditions primarily reflect climate conditions in the year when the research was carried out. For instance, very low temperatures of the lake's water measured in March 1956 were a consequence of an extremely severe and cold winter. According to Petrik (1960), in the first 20 days of February of that year the temperature was constantly below zero, and minimum values dropped to as low as -7.6 ºC. A similar situation was observed during our measurements. An extremely cold period at the end of 2001 and beginning of 2002 resulted in a temperature drop of the lake's water to 6.7 ºC. This is also the lowest temperature recorded in the most recent measurement period, i.e. from 1995 to 2002.

It should be noted, however, that the highest temperature in the hypolimnetic area of 9.3 ºC was recorded by Numann at the beginning of August 1941, i.e. much before the global warming. Also interesting are relatively low temperatures of the hypolimnium (6.5 – 6.9 ºC) recorded by Petrik in July 1956 as a consequence of an extremely cold winter after which the hypolimnetic area could not fully "recover", i.e. heat up in the summer period. Such occurrence was also recorded in 2002, despite the fact that it was on average the warmest year in the recording history in Croatia up to then, according to the Meteorological and Hydrological Service data. After an extremely cold start of the year and the occurrence of isothermy of the lake's water at the temperature as low as 6.7 ºC, the tem-

perature of the hypolimnium after summer heating, regardless of a temperature increase by 1.1 to 1.8 ºC, still did not reach particularly high values.

CONCLUSION

The measurements to date of water temperatures in Lake Vrana on the island of Cres show that the thermodynamic cycle of the lake conforms to the characteristics of a medium depth lake in the moderate climate belt. The determined thermal stratification during the year as well as isothermal conditions at the end of winter confirm that the lake's environment is of monomictic nature. A marked thermal stratification of the water takes place in the period from June to August, while conditions of complete isothermy usually last from December to February. Thermal conditions in the lake are under a significant influence of local climate characteristics at both seasonal and annual levels. The epilimnic area in the warm part of the year heats up to approximately 25 ºC. At the same time, deeper water layers (hypolimnium) retain very low water temperatures in the range from 6.5 to 9.3 ºC. Temperatures of the lake's water in the isothermal period directly depend on the winter period characteristics. The minimum values measured to date range from 4.65 to 7.9 ºC.

The measurements conducted in boreholes at the eastern bank of the lake showed that it is surrounded by a karst aquifer in which groundwater temperatures range from 14.6 to 13.1 ºC, and which has a clearly evident reverse geothermal gradient. The occurrence of a drop in groundwater temperatures according to the depth can be explained by the impact of constantly cold deep lake water.

The available data from past measurements, although they are a good illustration of the influence of seasonal climate on the state of lake water, are not sufficient for analysis of potential impacts of climate changes.

It is very disadvantageous that the monitoring of lake water and groundwater established in the period 1995 – 2002 was discontinued. Taking into account the development and availability of equipment for continuous monitoring and the new research cycle started within the CC-WaterS project, it is proposed that the program should be continued with the support of Croatian Waters, which has virtually been the only investor into research activities in the Lake Vrana area to date.

LITERATURA

[1] Biondić, B., Kapelj, S. & Kuhta, M., (1998): *Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu s prijedlogom zona sanitarne zaštite*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.

[2] Gajić-Čapka, M., Guttler, I., & Branković, Č., (2010): *Contribution to the CC-WaterS project: a study of climate and climate change for three test beds in Croatia*. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

[3] Gavazzi, A., (1902): *Temperature vode u prelaznom sloju Vranskog jezera*. JAZU, Rad 151, Zagreb.

[4] Kuhta, M., (2002): *Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 2001.-2002. godina*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.

[5] Kuhta, M., (2004): *Vrana Lake on Cres Island - genesis, characteristics and prospects*. XXXIII Congress IAH & 7. Congress ALHSUD, Proceedings (CD), Zacatecas, Mexico.

[6] Mesić, S. & Kuhta, M., (2001): *Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 1998.-2000. godina*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.

[7] Morton, F., (1933): *Der Vrana-See auf der italianischen Insel Cherso*. Arch. f. Hydrobiol.

[8] Nümann, W. (1949): *Beitrage zur Hydrographie das Vrana-Sees (Insel Cherso)*, *insbesonders Untersuchungen über die organische sowie anorganische Phosphor und Stickstoffvebindungen*. Nova Thalassia.

[9] Petrik, M. (1960): *Prilozi limnologiji jezera Vrana*. Krš Jugoslavije *2,* JAZU, *105-192,* Zagreb.

AUTORI

Mladen Kuhta [a]
Željka Brkić [a]

[a] Croatian geological survey, Sachsova 2, Zagreb, 10000, Croatia
mladen.kuhta@hgi-cgs.hr, zeljka.brkic@hgi-cgs.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.37.

SANACIJA I REVITALIZACIJA TRAKOŠĆANSKOG JEZERA

Barbara Županić, Ivan Radeljak, Branimir Barač

SAŽETAK: Trakošćansko jezero umjetna je akumulacija nastala izgradnjom brane na potoku Čemernica, negdje sredinom 19. stoljeća. Jezero je prvobitno nastalo u svrhu uzgoja ribe i uređenja okoliša. 1953. godine Trakošćan je, s perivojem, jezerom i park-šumom proglašen spomenikom kulture. Samo jezero i okolna vlažna područja obuhvaćena su Nacionalnom ekološkom mrežom, zbog nekoliko stanišnih tipova koji su bitni za opstanak divljih svojti. Prema postojećim podacima, zadnjih tridesetak godina jezero nije redovito čišćeno, što je rezultiralo prekomjernim taloženjem nanosa na dnu te visokim stupnjem trofije. Također su uočena oštećenja pregradnog profila, preljeva i temeljnog ispusta brane. Uvažavajući sva ograničenja, pristupilo se izradi projekta sanacije pregradnog profila i kaskadnog brzotoka te čišćenja jezera. Predloženo tehničko rješenje čišćenja jezera podrazumijeva varijantu potpunog pražnjenja jezera te odstranjivanje prosušenog mulja suhozemnom mehanizacijom. Problem pri realizaciji predloženog rješenja sanacije Trakošćanskog jezera nastaje zbog uvjeta zaštite prirode i okoliša prema kojima je jezero svrstano u područje Nacionalne ekološke mreže te otporu udruga za zaštitu okoliša prema postupku potpunog pražnjenja jezera u cilju njegovog održavanja.

KLJUČNE RIJEČI: stanište, nacionalna ekološka mreža (CRO-NEN), čišćenje istaloženog sedimenta, Trakošćan, umjetna vodna tijela

SUMMARY: Trakošćan Lake is an artificial accumulation created in the middle of 19th century by construction of the dam on Čemernica stream. The lake was originally created for fish farming and landscape arrangement. In the year of 1953, Trakošćan castle was proclaimed as a cultural monument, including surrounding park, lake and woodland. Since Trakošćan Lake and surrounding wetland areas provide habitats important for survival of wild species, this area has been included in National Ecological Network (CRO-NEN). According to available records, in last 30 years deposited sediment was not regularly removed from the lake, which resulted in excessive sediment disposal on the bottom of the lake and high trophic levels. Furthermore, damages have been spotted on the dam, overflow and outlet pipe. Despite all existing limitations, the project design was prepared for dam reconstruction and lake cleaning. Suggested technical solution for lake cleaning proposes complete discharge of the lake and cleaning of dried sediment with mechanization in dry conditions. Realisation of proposed technical solution is currently

on hold due to designation of the site within National Ecological Network (CRO-NEN) and resistance of Environmental protection organisations to complete discharge of the lake for maintenance purposes.

KEY WORDS: habitat, National Ecological Network (CRO-NEN), removal of deposited sediment, Trakošćan, artificial water bodies

1. UVOD

Sredinom devetnaestog stoljeća (1852.-1860. god.) Juraj V. Drašković izgradio je dolinsku branu na potoku Čemernica u blizini dvorca Trakošćan, u svrhu uzgoja ribe i uređenja okoliša Trakošćanskog dvorca. Predviđenim načinom korištenja vode Trakošćanskog jezera za uzgoj ribe, u jesenskom i zimskom periodu ispuštala se sva voda iz jezera na najnižoj točki brane, što je pored ostalog imalo za cilj da voda odnese i nataloženi mulj u jezeru te da se uslijed niskih zimskih temperatura izvrši zamrzavanje radi lakšeg čišćenja i uređenja. U zimskom periodu je jezero bilo čišćeno od mulja, te je nakon toga ponovno napunjeno vodom i pušten je novi mlađ u jezero radi uzgoja.

Godine 1953. Trakošćan je, s perivojem, jezerom i park-šumom proglašen spomenikom kulture te je osnovana institucija Dvor Trakošćan. Park-šuma s jezerom, te perivoj pružaju cjelovitu i impresivnu sliku koja plijeni pozornost posjetitelja. Jedan je od najposjećenijih muzeja i najočuvaniji dvorac u Hrvatskoj.

Jezero Trakošćan dugo je oko kilometar i pol, površine oko 17 hektara, a dubine oko 2,5 metra. Voda se ljeti ugrije i do 22° C, a zimi se površina jezera zaleđuje. Uz samo jezero uređene su pješačke staze, koje taj prostor pretvaraju u jedinstveno šetalište.

Razina jezera u sadašnjem stanju je 250 m nm i održava se putem preljeva koji se nalazi na zapadnom dijelu jezera. Preljevne vode preko brzotoka otječu u rijeku Bednju. Na lokaciji preljeva i uz bokove kaskadnog brzotoka pojavila su se uleknuća terena i paralelni tokovi vode iz akumulacije koji ugrožavaju stabilnost brzotoka, ali što je važnije, i cijelog pregradnog profila (slika 1).

Slika 1. – Pogled na vodnu stranu pregrade

Pored toga što je brzotok oštećen i njegovo funkcioniranje upitno, niti temeljni ispust nije u funkciji. Kroz pregradni profil, uz brzotok i temeljni ispust, formiran je tok vode iz jezera. Iz tih razloga nužna je sanacija pregradnog profila i kaskadnog brzotoka na način da se zaustavi prodor vode kroz pregradu i osigura, u tehničkom smislu, upravljivost preljeva i gospodarenje vodama u jezeru. Pored toga, u proteklih 30 godina, prema raspoloživim podacima, jezero nije čišćeno i danas je praktično puno nanosa. Za sušnog razdoblja javlja se cvjetanje vodene površine zelenim algama sa pokrivenosti cca 80% vodne površine, što se smatra razdobljem umiranja jezera, koje je iz godine u godinu sve prisutnije i nagovještava još lošiju situaciju, odnosno 100% pokrivenosti algama i potpuno cvjetanje jezerske površine sve do sadašnje dubine jezera koja iznosi 2-3 m.

Iz tih razloga pristupilo se izradi *Hidroing d.o.o. Osijek (2009.): Idejni projekt sanacije pregradnog profila i kaskadnog brzotoka na jezeru Trakošćan*, u cilju saniranja trenutnih paralelnih tokova vode uz brzotok i sprječavanje unošenja nanosa u jezero, te prijedloga elemenata izmuljenja i čišćenja jezera.

2. SADAŠNJE STANJE TROFIJE JEZERA

Eutrofikacija je prirodni proces koji podrazumijeva povećanje primarne proizvodnje organske tvari, što rezultira značajnim kemijskim promjenama u kvaliteti vode, te promjenama u sastavu i strukturi zajednica. Svako je jezero tijekom svog postojanja na početku bilo slabo produktivno (oligotrofno), jer je sadržavalo malo hranjivih tvari potrebnih za rast i razvoj primarnih proizvođača, a vezano uz njih i drugih organizama. Uvođenjem većih količina hranjivih tvari, te uz ostale povoljne uvjete poput temperature vode, Sunčeve energije i hidrodinamičkih prilika vodnog sustava, naglo se razvijaju primarni proizvođači. Potrošači prvog i viših redova sporije se razvijaju nego proizvođači, pa dio mase fitoplanktona ugiba i dospijeva na dno te se tako povećava sloj sedimenta, tj. jezero postaje sve pliće i sve produktivnije. To također znači da je proces eutrofikacije sve brži i brži. Uz polagano zatrpavanje, na rubovima jezera pojačano se počinje razvijati trska i šaš, a na vrlo plitkim dijelovima i neke grmolike i drvenaste biljke, primjerice joha, vrba i topola. To još više ubrzava smanjenje dubine jezera. Slobodna vodna površina se smanjuje, nestaje donje neosvijetljene zone i jezero prelazi u baru odnosno močvaru, a taj proces može završiti potpunim isušivanjem jezera. U plitkim jezerima poput Trakošćanskog proces eutrofikacije može biti izrazito brz, pogotovo uz smanjeni dotok vode u jezero.

U nastavku su ukratko prikazani rezultati istraživanja stupnja trofije Trakošćanskog jezera, preuzeti iz *Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb (2007.):Studija utvrđivanja stanja vode u jezeru Trakošćan sa programom mjera za njegovu sanaciju i revitalizaciju*:

- Zabilježene su vrlo male vrijednosti prozirnosti vode (2.3 – 0.5 m), što ukazuje na intenzivnu primarnu proizvodnju, posebice u toplijem dijelu godine.
- Jezero pripada klasi mezotrofnih do eutrofnih voda (III. – IV. vrsta voda). Na ovo posebno ukazuje visoka vrijednost klorofila *a*, koja je zapravo mjera primarne proizvodnje u jezeru.
- Prema fizikalno-kemijskim pokazateljima kakvoće vode jezero pripada I.-II. vrsti voda. Pri tome nisu uočene veće razlike u kvaliteti pridnenih i površinskih slojeva vode.

- Prema režimu kisika površinski slojevi ulaze u klasu I. vrste voda, a pridneni III. vrste, što ukazuje na procese razgradnje na dnu jezera.
- Prema količini hranjivih tvari jezero ulazi u klasu I-II vrste voda.
- Sve prethodno navedeno ukazuje na vrlo brzo kruženje tvari u jezerskom sustavu.

Napomena: navedena klasifikacija voda dana je prema *Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/98)*, koja je bila na snazi u vrijeme izrade prethodno navedene *Studije*.

Navedeno istraživanje ukazuje da je potrebno što hitnije pristupiti uklanjanju sedimenta iz jezera, obzirom da će se takvim postupkom povećati dubina i volumena jezera te ukloniti velike količine hranjivih tvari, koje su potencijalan uzrok porastu stupnja trofije (eutrofikacije).

3. UVJETI ZAŠTITE PRIRODE I OKOLIŠA

Jezero ima značaj kao stanište nekoliko zaštićenih ili ugroženih biljnih vrsta, te važnih stanišnih tipova, koji su bitni za opstanak divljih svojti. U jezeru Trakošćan i na njegovim okolnim vlažnim i močvarnim staništima evidentirano je nekoliko biljnih i životinjskih vrsta zaštićenih *Zakonom o zaštiti prirode (NN 70/05)* i/ili ugroženih na nacionalnoj razini (*Crveni popis ugroženih biljaka i životinja Hrvatske, DZZP, 2004.; Crvena knjiga vaskularne flore Hrvatske, DZZP, 2004.*). Područje jezera također je obuhvaćeno Nacionalnom ekološkom mrežom (CRO-NEN).

Uredbom o proglašenju ekološke mreže Republike Hrvatske (NN 109/07 od 24.10.2007.) definirana je ekološka mreža Republike Hrvatske sa sustavom ekološki značajnih područja i ekoloških koridora s ciljevima očuvanja i mjerama zaštite koje su namijenjene održavanju ili uspostavljanju povoljnog stanja ugroženih i rijetkih stanišnih tipova i/ili divljih svojti. Ciljevi očuvanja područja ekološke mreže utvrđeni su u skladu s ekološkim zahtjevima divljih svojti i/ili stanišnih tipova, a temeljem stručnih i znanstvenih kriterija. Mjere zaštite područja ekološke mreže utvrđuju se na temelju smjernica za mjere zaštite koje čine sastavni dio ove uredbe.

Područja nacionalne ekološke mreže su potencijalna područja EU ekološke mreže NATURA 2000 koju je Republika Hrvatska obvezna prirediti i podnijeti Europskoj komisiji do dana pristupa Europskoj Uniji. Uspostava ekološke mreže dio je obveza Republike Hrvatske u sklopu procesa pristupanja Europskoj uniji, odnosno provedbe Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju. Pripremu za NATURU 2000 u Hrvatskoj vrši Državni zavod za zaštitu prirode.

Na svakom se području Nacionalne ekološke mreže aktivnosti moraju provoditi na način koji osigurava kontinuiran, dugoročni opstanak vrsta i stanišnih tipova zbog kojih je neko područje uključeno u mrežu. To znači da se unutar mreže izbjegavaju štetne aktivnosti koje bi mogle značajno uznemiriti vrstu ili narušiti staništa zbog kojih je to područje odabrano; poduzimaju pozitivne mjere, gdje je potrebno, u cilju održavanja i obnavljanja „povoljnog statusa zaštite“ tih staništa i vrsta u njihovom prirodnom području rasprostranjenja.

Prema Nacionalnoj ekološkoj mreži (CRO-NEN), na području Trakošćanskog jezera nalaze se slijedeća staništa s pripadnim stanišnim tipovima:

- **Čemernica:** hidrofilni rubovi visokih zeleni uz rijeke i šume (Convolvulion sepii, Filipendulion, Senecion fluviatilis).
- **Trakošćansko jezero**: amfibijska staništa Isoeto-Nanojuncetea.
- **Bednja:** hidrofilni rubovi visokih zeleni uz rijeke i šume (Convolvulion sepii, Filipendulion, Senecion fluviatilis); Mezofilne livade košanice Srednje Europe; Vlažne livade Srednje Europe.

Na području Bednje registrirane su i divlje svojte: bjeloperajna krkuša - *Gobio albipinnatus*, dabar - *Castor fiber*, gavčica - *Rhodeus amarus*, paklara, piškur - *Misgurnus fossilis*, plotica - *Rutilus pigus*, ribarica - *Natrix tessellata*, sibirska perunika - *Iris sibirica*, vidra - *Lutra lutra*.

4. IZBOR TEHNIČKOG RJEŠENJA ČIŠĆENJA JEZERA

Pri izboru tehničkog rješenja čišćenja jezera razmatrane su dvije moguće varijante:

Varijanta 1 – potpuno pražnjenje jezera

Obzirom na postojanje temeljnog ispusta u tijelu brane, moguće je Trakošćansko jezero potpuno isprazniti te nakon pražnjenja suhozemnom mehanizacijom ukloniti nataložen mulj. U prošlosti se, za potrebe održavanja, jezero redovito praznilo svake druge godine te čistilo od mulja (*Obad-Šćitaroci M., 1990: Perivoji i dvorci Hrvatskoga zagorja, Školska knjiga*).

Osnovne prednosti **varijante 1**:

- tehnički jednostavniji zahvat,
- financijski povoljniji zahvat,
- mogućnost ponovnog poribljavanja jezera vrstama pogodnim za smanjenje stupnja trofije i održavanje povoljne kakvoće vode,
- mogućnost izravnog konačnog zbrinjavanja sedimenta,
- pojednostavljivanje radova na sanaciji pregradnog profila, preljeva i brzotoka.

Glavni nedostaci **varijante 1**:

- potpuno prazno jezero kroz duže vremensko razdoblje, tijekom čišćenja,
- stradavanje dijela biljnog i životinjskog svijeta u jezeru,
- socijalno ekonomski utjecaji tj. privremena ugroženost turističkog potencijala lokacije.

Varijanta 2 – čišćenje jezera refuliranjem

Sediment s dna jezera moguće je otkloniti korištenjem plovnih strojeva za refuliranje. Refuliranjem se, uz sediment, zahvaćaju i veće količine vode te flore i faune jezera, te je iz tog razloga potrebno izgraditi odgovarajuće taložnice za sedimentaciju refuliranog materijala.

Osnovne prednosti **varijante 2**:

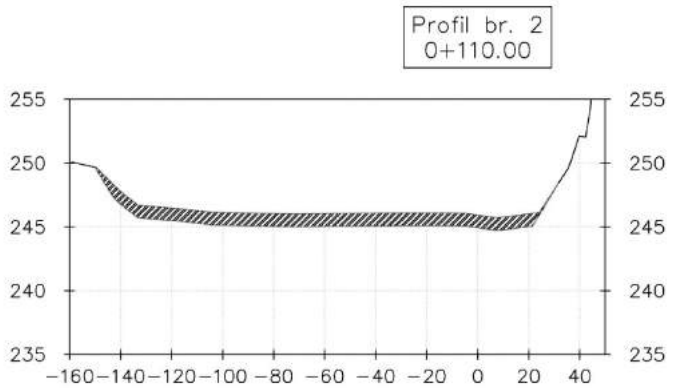
- mogućnost vađenja sedimenta bez pražnjenja jezera,
- mogućnost vađenja sedimenta neovisno o hidrološkim prilikama ili godišnjem dobu,
- nešto veće očuvanje biljnog i životinjskog svijeta jezera u odnosu na varijantu 1.

Glavni nedostaci **varijante 2**:

- financijski elementi (skuplji zahvat),
- uz trajno zbrinjavanje sedimenta, potrebno je osigurati i uvjete za privremeno deponiranje (taložnice),
- zadržavanje postojećeg ribljeg fonda jezera, koji je u osnovi nepovoljan,
- otežana sanacija brane.

Analizom prednosti i nedostataka obiju varijanti, načelno je odabrana varijanta 1 – potpuno pražnjenje jezera i uklanjanje sedimenta suhozemnom mehanizacijom. Na odabir ove varijante utjecala je i raspoloživost mehanizacije kojom bi se provelo uklanjanje sedimenta prema varijanti 2 – morala bi se koristiti manja plovna mehanizacija (refuleri) koji imaju relativno malen učinak te bi uklanjanje ukupne predviđene količine sedimenta zahtijevalo relativno dugo vrijeme izvedbe. Također, uklanjanje sedimenta suhozemnom mehanizacijom u prethodno ispražnjenom jezeru znatno pojednostavljuje i radove na sanaciji pregradnog profila i preljeva.

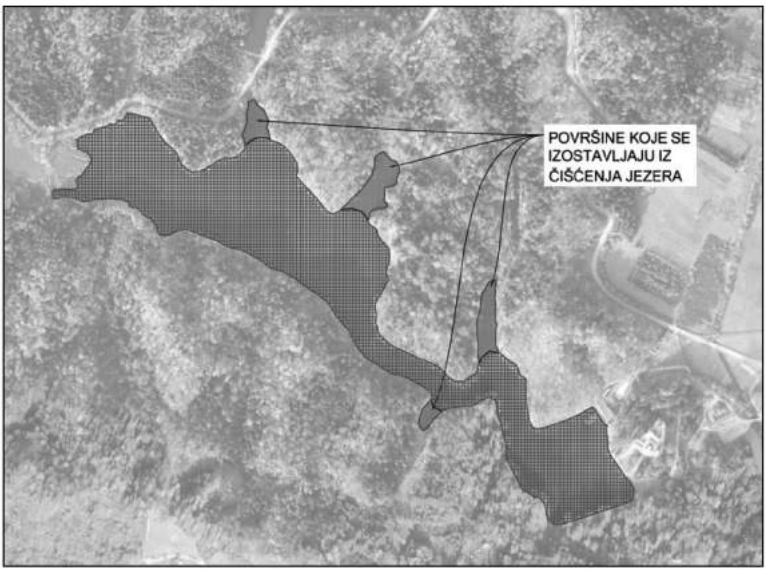
Obzirom na trenutno raspoložive podatke, moguće je dati samo procjenu ukupnih količina sedimenta temeljem karakterističnog poprečnog presjeka jezera prikazanog na slici 2.



Slika 2: Karakteristični poprečni profil čišćenja Trakošćanskog jezera

Temeljem geodetsko-hidrografskog snimka i podataka s Hrvatske osnovne karte mjerila 1:5.000 načinjen je trodimenzionalni model trenutnog stanja korita jezera i okolnog terena. Prema usvojenom karakterističnom poprečnom profilu čišćenja jezera, načinjen je trodimenzionalni model planiranog stanja korita jezera. Usporedbom tih dvaju modela, predviđena količina sedimenta za uklanjanje iznosi cca. 135.000 m^3.

Pri provođenju uklanjanja sedimenta iz jezera u svrhu smanjenja stupnja trofičnosti, preporučeno je ostaviti do 20% površine korite jezera neočišćenim. Takav pristup osigurava zadržavanje dijela biljne, životinjske i mikrobiološke populacije jezera. U Trakošćanskom jezeru za površine na kojima se neće vršiti čišćenje odabrana su 4 „uvale“ jezera, čija površina čini cca. 15% od ukupne površine jezera. Prikaz tih površina prikazan je na slici 3.



Slika 3. – Prikaz površina koje se izostavljaju iz čišćenja jezera

Za potrebe ovog projekta *Zavod za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar Zagreb* ispitao je kakvoću mulja Trakošćanskog jezera. Zaključak ispitivanja je da uzorak zadovoljava parametre propisane *Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92)*, koji je bio na snazi u vrijeme izrade projekta, te je izvađeni sediment moguće konačno zbrinuti na odgovarajućim deponijama. Za položaj deponija odabrane su postojeće „vododerine" u blizini samog jezera kao i dolina rijeke Bednje sjeverno od dvorca Trakošćan. Takav položaj je odabran iz razloga dobre prometne povezanosti s jezerom i povoljne konfiguracije terena.

Tijekom izrade projekta čišćenja jezera iskristalizirala su se dva ključna problema:

1) Otpor udruga za zaštitu okoliša prema varijantnom rješenju kojim se prazni cijelo jezera.
2) Način zbrinjavanja izvađenog sedimenta.

Zbog navedenih problema, čišćenje jezera do danas nije realizirano.

ZAKLJUČAK

Sva jezera nastala prirodnim ili umjetnim putem podložna su eutrofikaciji. Trakošćansko jezero, kao umjetno stvoreno vodno tijelo, potrebno je održavati. U slučaju daljnjeg nepoduzimanja mjera čišćenja, jezerska površina u današnjem obliku postupno će nestajati.

Osnovni problem pri realizaciji čišćenja Trakošćanskog jezera je što se obuhvat zahvata nalazi unutar Nacionalne ekološke mreže. Nameće se nekoliko pitanja: Mogu li se umjetna vodna tijela promatrati i kategorizirati na isti način kao i prirodna? Je li potrebno umjetno stvoreno stanište štititi na način da se onemoguće postupci redovnog održavanja vodnog tijela koje je utjecalo na formiranje upravo tog i takvog staništa? Postoje li potpuno prirodna staništa i gdje je granica između prirodnih i umjetnih?

Mišljenja smo da je potrebno analizirati mogućnost primjene dodatnih kriterija u određivanju i upravljanju područjima unutar ekološke mreže, posebice kod vodnih staništa nastalih prirodnim ili umjetnim putem.

LITERATURA

[1] Crvena knjiga vaskularne flore Hrvatske (2004), Državni zavod za zaštitu prirode

[2] Crveni popis ugroženih biljaka i životinja Hrvatske (2004), Državni zavod za zaštitu prirode

[3] Hidroing d.o.o. Osijek (2009.): Idejni projekt sanacije pregradnog profila i kaskadnog brzotoka na jezeru Trakošćan

[4] Obad-Šćitaroci M., (1990): Perivoji i dvorci Hrvatskoga zagorja, Školska knjiga

[5] Pravilniko o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92)

[6] Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb (2007.):Studija utvrđivanja stanja vode u jezeru Trakošćan sa programom mjera za njegovu sanaciju i revitalizaciju,

[7] Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/98)

[8] Uredba o proglašenju ekološke mreže Republike Hrvatske (NN 109/07)

[9] Zakon o zaštiti prirode (NN 70/05)

KORIŠTENI IZVORI

[1] Tedeschi, S. (1997.): Zaštita voda, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, str. 90-94

AUTOR

Barbara Županić, dipl.ing.građ. [a]
Ivan Radeljak, dipl. ing. građ. [b]
Branimir Barač, mag. ing. aedif. [c]

[a] Hidroing d.o.o. Osijek, Tadije Smičiklasa 1, 31 000 Osijek
e-mail: barbaraz@hidroing-os.hr

[b] Hidroing d.o.o. Osijek, Tadije Smičiklasa 1, 31 000 Osijek
e-mail: ivanr@hidroing-os.hr

[c] Hidroing d.o.o Osijek, Tadije Smičiklasa 1, 31 000 Osijek
e-mail: branimirb@hidroing-os.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.38.

SOLIDIFIKACIJA/STABILIZACIJA SEDIMENTA VODOTOKA KRIVAJA (SRBIJA) ZAGAĐENOG METALIMA

Olivera Gavrilović, Milena Dalmacija, Božo Dalmacija, Dejan Krčmar, Srđan Rončević

SAŽETAK: Vodotok Krivaja, je najduže prirodno vodno telo (109 km) koje se celom svojom dužinom nalazi na teritoriji AP Vojvodine (Srbija). Na osnovu rezultata monitoringa vode i sedimenta vodotoka Krivaja, ustanovljeno je da kvalitet vode ne odgovara propisanoj kategoriji vodotoka, što je na prvom mestu posledica pritisaka neprečišćenih komunalnih i industrijskih otpadnih voda. Ustanovljeno je da je sediment Krivaje izuzetno zagađen bakrom i cinkom, koje se nalaze u koncentracijama koje predstavljaju rizik po okolinu i kvalitet površinske vode. Za remedijaciju ovog sedimenta odabran je tretman solidifikacije/stabilizacije (S/S) lokalnom glinom. Ova tehnologija, koja uključuje mešanje vezivnog materijala sa kontaminiranim materijalom, štiti životnu sredinu imobilišući štetne komponente. U cilju određivanja dugoročnog ponašanja S/S smeša u laboratoriji, rađeni su testovi izluživanja u skladu sa ANS difuzionim testom u periodu od 90 dana. Dobijeni rezultati ukazali su da glina efikasno vrši imobilizaciju ovih metala. Takođe, rezultati sekvencijalne ekstrakcije S/S smeša, ukazali su da su metali u smešama skoro potpuno imobilisani i ne predstavljaju rizik za životnu sredinu.

KLJUČNE RIJEČI: sediment, solidifikacija/stabilizacija, metali, izluživanje

SOLIDIFCATION/STABILIZATION OF METALS POLLUTED SEDIMENT OF KRIVAJA (SERBIA) RIVER

SUMMARY: Krivaja river is the maximum natural water body (109 km) and to the whole of its length is in the territory of Vojvodina (Serbia). Based on the results of water and sediment monitoring of river Krivaja, it was found that water quality does not match the prescribed category of watercourses, which is the result of pressures of untreated municipal and industrial wastewater. It was found that Krivaja sediment is highly contaminated with copper and zinc, which were found in concentrations that pose a risk to the environment and quality of surface water. For the remediation of sediment was chosen solidification/stabilization treatment (S/S) with local clay. This technology, which includes the mixing of binding material with contaminated material, protects the environment by immobilizing harmful components. In order to determine the long-term behavior

of S/S mixtures, leaching tests were conducted in accordance with ANS diffusion test for 90 days. Our results indicate that clay is effective immobilization agent for these metals. Also, the results of sequential extraction of S/S mixtures, indicated that the metals in the mixtures are almost completely immobilized and do not represent a risk to the environment

KEYWORDS: sediment, solidification/stabilization, metals, leaching

1. UVOD

Krivaja je posle Dunava i Tise najveći prirodni površinski vodotok u Vojvodini. Ona obuhvata teritorije današnjih opština Subotica, Bačka Topola, Mali Iđoš i Srbobran pri čemu u gornjem toku prolazi pored naselja Bajmok, Stari Žednik, Mali Beograd i Zobnatica, a u donjem toku pored Bačke Topole, Bajše, Malog Iđoša, Lovćenca i Feketića. Krivaja se uliva u Kanal Bečej-Bogojevo nakon Srbobrana i Turije. Važan segment vodotoka Krivaja predstavljaju akumulaciona jezera koja se uglavnom koriste za navodnjavanje. U Krivaju se direktno ili indirektno ulivaju otpadne vode industrijskog sektora, komunalne otpadne vode i od poljoprivrede. Najveća koncentracija zagađivača je na lokaciji većih gradova lociranih na Krivaji. Od ovih zagađivača voda na Krivaji godišnje potiče oko 1.300.000 m^3 koje su u najvećoj meri neprečišćene ili nedovoljno prečišćene otpadne vode**.** Najveći deo ovih voda sačinjavaju otpadne vode industrije 66% (prehrambene pre svega), potom otpadne vode iz gradskih kanalizacija 24%, svinjogojske farme 10%.

Potreba za analizom sedimenta proistekla je iz činjenice da sediment pokazuje snažno izraženu tendenciju vezivanja i da na taj način predstavlja rezervoar toksičnih i perzistentnih jedinjenja dominantno antropogenog porekla. Kvalitet sedimenta procenjen je u skladu sa holandskom i kanadskom metodologijom klasifikacije, *(*Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment Directorate-General for Environmental Protection, 2000; Canadian Council of Ministers of Environment, 2001*)* u nedostatku nacionalne legislative. Utvrđeno je da je sediment Krivaje izuzetno zagađen bakrom i cinkom (192 mg/kg Cu i 1218 mg/kg Zn), i kao takav predstavlja izuzetan rizik za životnu sredinu i zdravlje ljudi, uzimajući u obzir pre svega, namenu ovog vodotoka. Sedimentu ovakvih karakteristika, neophodna je remedijacija.

Iako su tehnike za remedijaciju zemljišta u velikoj meri razvijene malo se zna o remedijaciji sedimenta. Osobine sedimenta se mogu u velikoj meri razlikovati od osobina zemljišta i tehnologije adekvatne za zemljište ne moraju odgovarati sedimentu (Mulligan et al., 2001*).* Veoma je bitno pri tome napraviti balans između zaštite životne sredine i ekonomske efikasnosti. Remedijacione tehnike često su ekonomski neprihvatljive zbog velike zapremine zagađenog sedimenta, ali i zbog izuzetno visokih cena (USEPA, 2005). Na osnovu postojećih podataka o vrsti i količini zagađujućih materija u sedimentu Krivaje, a uzimajući u obzir i tehničke mogućnosti i ekonomske kriterijume, jedno od mogućih trajnih rešenja problema zagađenog sedimenta vodotoka Krivaja jeste tretman solidifikacije/stabilizacije.

Pojam solidifikacije/stabilizacije (S/S) je opšti pojam koji se koristi za opisivanje širokog spektra tehnika koje služe da transformišu otpad u oblike koji će biti manje problematični po životnu sredinu. Iako je S/S tehnologija prvobitno razvijena 1960-ih godina radi tretmana nuklearnog i drugih vrsta opasnog otpada, od 1980-ih godina ova tehnologija

je našla svoju primenu i u tretmanu kontaminiranih zemljišta i sedimenata (Laugesen, 2007). Obično je glavni cilj solidifikacije da se otpad pretvori u oblik koji je lakši za rukovanje i odlaganje, uz istovremeno minimiziranje štetnog potencijala smanjivanjem površine otpada koja je u kontaktu sa životnom sredinom.

U poslednjoj deceniji, pored tehnika za remedijaciju, značajna pažnja je usmerena na ispitivanje frakcionacije, distribucije metala u različitim fazama rečnog sedimenta. Distribucija metala u sedimentu može ukazati na potencijalnu opasnost po okolinu kroz način na koji su metali povezani. Interesovanje za ove tehnike je poraslo posle povezivanja stepena mobilnosti sa procenom rizika (na primer ukoliko je metal mobilniji, veći je i rizik vezan za njega) (Jain, 2004). Često ukupna koncentracija metala nije dovoljna da definiše toksičnost sedimenta jer različiti sedimenti pokazuju različit stepen toksičnosti u zavisnosti za koju fazu u sedimentu su metali vezani. Sekvencijalna ekstrakciona procedura je veoma korisno oruđe i pri određivanju mogućnosti primene remedijacionih tehnika ali i same efikasnosti uklanjanjanja zagađenja.

2. MATERIJAL I METODE

Na osnovu prethodnih istraživanja i sa tehno-ekonomskog kriterijuma, odabrani agens za solidifikaciju/stabilizaciju bio je autohtona glina sa lokaliteta okoline Krivaje (ciglana Potisje - Kanjiža). Sastav korišćene gline je bio sledeći (maseni %): SiO_2 (55.7), Al_20_3 (14.91), Fe_2O_3 (5.78), MgO (2.86), CaO (5.9), Na_2O (0.83), SO_3 (0.22) TiO_2 (0.8) i gubitak žarenjem 10.58 %.

Ovaj agens je odabran jer je najisplativiji sa ekonomskog aspekta, a u prethodnim istarživanjima se pokazao kao vrlo uspešan u imobilizaciji različitih polutanata. Takođe, velika specifična površina, hemijska i mehanička stabilnost, slojevita struktura, visok kapacitet katjonske izmene i druge osobine čine gline odličnim adsorbentima .

Agens je u odnosu 5, 10, 20, 50 i 80% maseno mešan sa sedimentom. Smeše su zatim kompaktirane u skladu sa ASTM D1557-00 (ANS, 1986) standardnoj metodi i smeštene u inertne plastične vrećice i ostavljene da odstoje 28 dana na temperaturi od 20˚C. Nakon toga, smeše su podvrgnute modifikovanom semi-dinamičkom ANS 16.1 testu. Ovaj test je izveden na sobnoj temperaturi sa dejonizovanom vodom kao agensom za izluživanje. Uzorci su smešteni u inertne plastične mrežice i postavljeni u visećem položaju u plastičnu posudu sa destilovanom vodom, pri čemu je odnos tečnost/čvrsto (L/S) bio 10:1 (l kg-1). Test je rađen pod semidinamičkim uslovima pri čemu je monolit potapan u svež rastvor destilovane vode nakon 2, 7, 24, 48, 72, 96, 120, 456, 1128 i 2160 sati, a u rastvoru nakon izluživanja i filtriranja na membranskom filtru (0.45 μm) određena je koncentracija metala atomskom apsorpcionom spektrometrijom (AAS) ili indukovanom kuplovanom plazmom – masenom spektrometrijom (ICP-MS) u zavisnosti od koncentracije.

Da bi se uradila frakcionacija metala u sedimentu primenjena je modifikovana BCR sekvencijalna ekstrakciona procedura (Jamali et al., 2009*)* polaznih uzoraka sedimenta i tretiranih smeša koje su korišćene za ispitivanje mogućnosti primene remedijacionih tretmana. Ova ekstrakciona procedura razdvaja metale na sledeće frakcije:

1. **Faza rastvorna u kiselinama** (RAS) koju čine izmenljivi metali i metali vezani za karbonate (najlakše dostupna, najmobilnija)
2. **Redukovana faza** (RED) koja sadrži metale vezane za gvožđe i magan oksihidrokside

(frakcija umereno mobilnih metala, oslobađaju se usled promene u redukcionim uslovima)

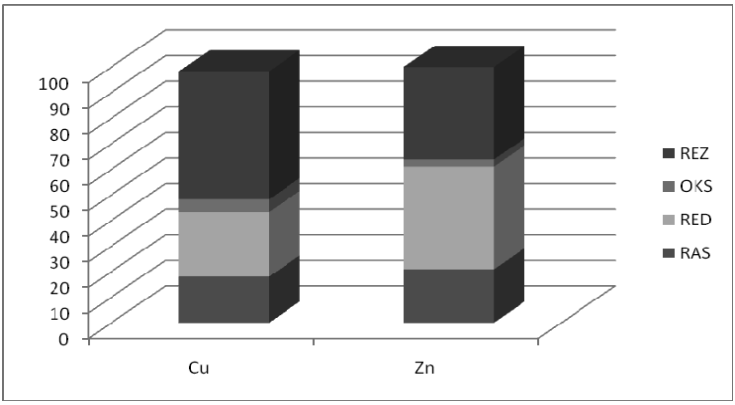
3. **Oksidovana faza** (OKS) koja predstavlja metale vezane za organsku materiju i sulfide (oslobađaju se pod oksidacionim uslovima)
4. **Rezidualna faza** (REZ) koja sadrži najmanje interesantne metale sa aspekta mobilnosti i potencijalne toksičnosti jer su to metali vezani za minerale.

Da bi se protumačili rezultati sekvencijalne ekstrakcije, upotrebljen je Kod Procene Rizika (KPR) koji daje informacije o mogućem riziku primenom skale za procenat metala koji je prisutan u izmenljivoj i karbonatnoj frakciji, odnosno u prvoj fazi modifikovane BCR procedure. Prema ovom Kodu, ako je procenat ove frakcije < 1% nema rizika za akvatične sisteme, 1-10% postoji nizak rizik, 11-30% umereno visok rizik, 31-50% visok rizik i > 75% veoma visok rizik (Jain, 2004).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Sekvencijalna ekstrakciona procedura

Rezultati sekvencijalne ekstrakcije za polazni sediment prikazane su na slici 1.

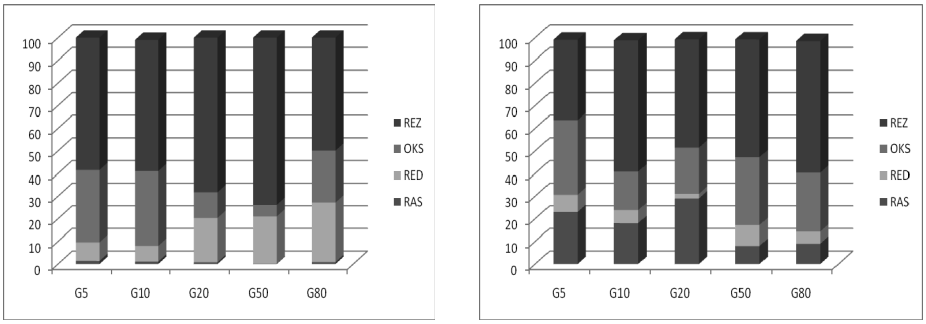


Slika 1. Rezultat sekvencijalne ekstrakcione procedure na početnom sedimentu

Prema Kodu Procene Rizika, u polaznom sedimentu Krivaje bakar i cink pokazuju umereno visok rizik, sa 18%, odnosno 22% (respektivno) udela u prvoj, karbonatnoj frakciji. Oba metala se u visokom procentu nalaze u redukovanoj fazi, Cu (25%) i Zn (40%), što ukazuje da se ovi metali mogu ponašati umereno mobilno, odnosno se mogu osloboditi pri promeni oksido-redukcionih uslova.

Nakon S/S tretmana takođe je urađena sekvencijalna ekstrakciona procedura. Distribucija metala u različitim fazama zapravo daje indikaciju o njihovoj dostupnosti, a sa druge strane daje mogućnost procene rizika vezano za njihovo prisustvo u akvatičnim sistemima. Metali koji se nalaze u rezidualnoj frakciji su vezani za aluminosilikatne minerale i zbog toga se smatra da je vrlo mala verovatnoća da će biti oslobođeni u vodenu fazu. Na osnovu rezultata sekvencijalne procedure u tretiranim uzorcima, može se zaključiti da se značajno smanjio udeo cinka i bakra u prvoj, karbonatnoj fazi koja je ujedno i

najproblematičnija jer je najlakše dostupna i najmobilnija. Dominantan je udeo cinka i bakra u rezidualnoj fazi, što ga praktično čini nedostupnim za akvatične sisteme (Zn 35-58%, Cu 58-73%) (slika 2).



Slika 2. Rezultait sekvencijalne ekstrakcione procedure za bakar i cink u smešama sa glinom

Cu u svim smešama sa glinom, sudeći po KPR (Jain, 2004), za razliku od polaznog sedimenta ne predstavlja rizik po akvatičnu sredinu, jer je zastupljen u karbonatnoj frakciji sa manje od 2%.

Zn sa druge strane, u smešama sa 5 i 10 % gline skoro je u jednakom procentu vezan za karbonatnu frakciju kao i u polaznom sedimentu (21 i 18%). Sa povećanjem udela gline ovaj procenat se smanjuje, ali je i u smeši sa 80 % gline ipak prisutan 10% u rastvorljivoj frakciji.

3.2. ANS 16.1 test

Kumulativni procenti bakra u smešama sa glinom su u opsegu 0.001 % (smeša sa 80 % gline) do 0.15 % (smeša sa 10 % gline), a u smešama sa cinkom i glinom su u opsegu 0.06 % (smeša sa 80 % gline) do 0.10 % (smeša sa 10 % gline). Ukoliko kumulativne izlužene koncentracije Cu i Zn (tabela 1) poredimo sa koncentracijama koje za otpad propisuje Evropska Unija (2003/33/EC) dolazimo do zaključka da se sve smeše sedimenta i gline mogu smatrati inertnim otpadom, te se može zaključiti da je tretman bio efikasan za oba metala.

Σc_s mg kg^{-1}		G5	G10	G20	G50	G80
	Cu	0.223	0.297	0.204	0.086	0.020
	Zn	0.426	0.369	0.617	0.490	0.197

Σc_s mg kg^{-1}- kumulativna izlužena koncentracija metala u odnosu na početnu koncentraciju

Tabela 1. Kumulativna izlužena koncentracija metala iz S/S smeša nakon tretmana

ANS 16.1 test (ANS, 1986) korišćen u ovom eksperimentu, koristi Fikovu difuzionu teoriju i obezbeđuje vrednosti o brzini difuzije koji mogu da omoguće procenu efikasnosti S/S tretmana na osnovu određivanja koeficijenata difuzije De i indeksa izluživanja LX prema jednačinama:

$$De = \pi \left[\frac{\frac{a_n}{A_0}}{(\Delta t)_n} \right]^2 \left[\frac{V}{S} \right]^2 T_n \quad (1)$$

gde je a_n gubitak kontaminanta (mg) tokom određenog perioda izluživanja sa indeksom n, A_0 je početna koncentracija kontaminanta u uzorku (mg), $(\Delta t) = t_n - t_{n-}$, V je zapremina uzorka (cm^3), S je geometrijska površina uzorka izračunata iz dimenzija (cm^2), T_n je vreme (s) u sredini perioda izluživanja a D_e je stvaran difuzioni koeficijent ($cm^2\ s^{-1}$).

Kada odredimo De vrednosti korišćenjem prethodne jednačine možemo odrediti i indeks izluživanja (LX) koji je negativan logaritam stvarnog koeficijenta difuzije. Vrednost LX data je sledećom jednačinom :

$$LX = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^{m} \left[-\log(D_e) \right]_n \quad (2)$$

gde je n broj određenih perioda izluživanja a m je ukupan broj pojedinačnih perioda izluživanja (Dermatas i drugi, 2004; Godbee i Joy, 1974).

LX vrednosti se mogu uzeti kao kriterijum za korišćenje i odlaganje S/S tretiranog otpada (Environment Canada, 1991). Za LX vrednosti iznad 9, tretman se smatra efikasnim i S/S tretiran otpad adekvatan za "kontrolisanu upotrebu", na primer rehabilitaciju kamenoloma, zatvaranje laguna, osnova za puteve. Za LX vrednosti između 8 i 9, S/S tretiran otpad može se odlagati u sanitarne deponije. S/S otpad sa vrednostima manjim od 8 smatra se neadekvatnim za odlaganje.

U tabeli 2 dati su srednji difuzioni koeficijenti i indeksi izluživanja za S/S smeše sa glinom.

smeša	Cu		Zn	
	De	**LX**	**De**	**LX**
G5	7.1E-13	12.1	1.1E-13	12.9
G10	1.5E-12	11.8	1.1E-13	12.9
G20	9.2E-13	12.0	3.6E-13	12.4
G50	3.7E-13	12.4	5.3E-13	12,3
G80	3.7E-14	13.4	1.5E-13	12.8

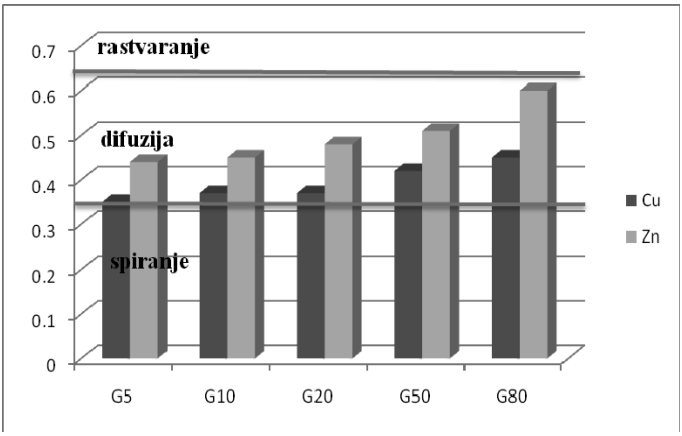
Tabela 2. Srednji difuzioni koeficijenti, $\overline{De}$ (cm^2s^{-1}) i indeksi izluživanja $\overline{LX}$

Prema literaturnim podacima (Nathwani i Phillips, 1980) koeficijenti difuzije metala iz S/S smeša se generalno kreću od vrednosti za veoma mobilne metale (oko 10^{-5} cm^2s^{-1}) do vrednosti oko i manje od 10^{-10} cm^2s^{-1} za metale praktično imobilisane u S/S smešama. Na osnovu rezultata u tabeli može se zaključiti da tretman efikasan za imobilizaciju oba metala, jer se koeficijenti difuzije kreću u opsegu 1.5E-12 cm^2s^{-1} do 3.7E-14 cm^2s^{-1}, što ukazuje da su metali praktično imobilisani u S/S smešama, čak i sa niskim udelom imobilizacionog agensa. Sa aspekta LX vrednosti, sve S/S smeše mogu imati kontrolisanu

upotrebu, jer su indeksi izluživanja u ospegu 11.8 – 13.4 za oba metala.

Mehanizam koji kontroliše izluživanje metala iz S/S smeša određuje se modelom difuzione teorije koji su razvili Groot i van der Sloot (1992). Vrednosti nagiba iz zavisnosti kumulativne izlužene frakcije metala i vremena su prikazani na slici 3. Prema vrednosti nagiba iz zavisnosti kumulativne izlužene frakcije metala B_t (mg m^{-2}) i vremena može se odrediti mehanizam izluživanja (ANS, 1986):

- manje od 0.35 površinsko spiranje
- 0.35-0.65 difuzija
- veće od 0.65 rastvaranje



Slika 3. Mehanizam izluživanja određen na osnovu vrednosti nagiba iz grafika zavisnosti kumulativne izlužene frakcije metala i vremena za S/S smeše

U svim smešama gline i sedimenta dominantan mehanizam izluživanja je difuzija, sa vrednostima nagiba od 0.35 do 0.60, što još jednom potvrđuje efikasnost primenjenog tretmana.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenih ispitivanja utvrđeno je da se tehnika solidifikacije/stabilizacije može uspešno koristiti za tretman toksičnog sedimenta iz Krivaje, a koji sadrži nedozvoljene količine bakra i cinka. Kao agens za ovaj tretman se može koristiti lokalna glina, koja se pokazala vrlo efikasnom u imobilizaciji ovih metala, u svim ispitivanim analizama.

LITERATURA

[1] ANS (American National Standard) ANSI/ANS-16.1. (1986). American National Standard for the Measurement of the Leachability of Solidified Low-Level Radioactive Wastes by a Short-Term Tests Procedure. ANSI/ANS-16.1. American National Standards Institute, New York, NY.

[2] Dalmacija B., Dalmacija M., Krčmar D., Tričković J., Watson M., Pešić V., Agbaba J., Maletić S., Božović Lj., Ugarčina S., Molnar J. (2009) Pilot projekta remedi-

jacije sedimenta iz Krivaje – izbor i optimizacija tretmana sedimenta, PMF, Novi Sad

[3] de Groot, G.J., van der Sloot in: Gilliam, T.M., Wiles, C.C. (Eds.) (1992) Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed wastes, vol. 2, ASTM STP 1123, ASTM, PA, pp 149.

[4] Dermatas, D., Moon, D.H., Menounou, N., Meng, X. i Hires, R. (2004) An evaluation of arsenic release from monolithic solids using a modified semi-dynamic leaching test, Journal of Hazardous Materials B116, 25-38.

[5] Environment Canada (1991). Proposed Evaluation Protocol for Cement-Based Solidified Wastes, Environmental Protection Series, Report No. EPS 3/HA/9.

[6] Godbee, H., Joy, D. (1974). Assessment of the Loss of Radioactive Isotopes from Waste Solids to the Environment: Part 1. Background and Theory. ORNL-TM-4333, Oak Ridge, Tennessee

[7] Jain, C. K. (2004) Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India, Water Research 38, 569–578.

[8] Jamali, M.K., Kazi, T.G., Arain, M.B., Afridi, H.I., Jalbani, N., Kandhro, G.A., Shah, A.Q., Baig, J.A. (2009) Speciation of heavy metals in untreated sewage sludge by using microwave assisted sequential extraction procedure, Journal of Hazardous Materials 163(2-3), 1157-1164

[9] Laugesen, J. (2007) Behaviour of solidified/stabilized contaminated sediments in confied disposal facilities (CDFs), Doctoral thesis, Faculty of Engineering and Technology – Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

[10] Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment Directorate-General for Environmental Protection. (2000) Circular on target values and intervention values for soil remediation, Netherlands Goverment Gazette 39.

[11] Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F. (2001) An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments, Journal of Hazardous Materials 85, 145–163

[12] Nathwani, J.S., Phillips, C.R. (1980) Leachability of Ra-226 from uranium mill tailings consolidated with naturally occurring materials and/or cement: II. Analysis based on mass transport equation, Water, Air and Soil Pollution 14, 389–402.

[13] Official Journal of the European Communities, L11, (2003), Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC.

[14] USEPA (2005) Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, EPA-540-R-05-012 Office of Solid Waste and Emergency Response OSWER 9355.0-85 December 2005.

AUTORI

Olivera Gavrilović, dipl. inž. tehn. [a]
dr Milena Dalmacija [b]
prof. dr Božo Dalmacija [b]
dr Dejan Krčmar [b]
doc. dr Srđan Rončević [b]

[a] JKP „Vode Vojvodine“, Bulevar Mihajla Pupina 25, 21000 Novi Sad, Srbija, ogavrilovic@vodevojvodine.com

[b] Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija, milena.dalmacija@dh.uns.ac.rs

[b] Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija, bozo.dalmacija@dh.uns.ac.rs

[b] Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija, dejan.krcmar@dh.uns.ac.rs

[b] Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija
srdjan.roncevic@dh.uns.ac.rs

R 1.39.

TESTIRANJE PROGRAMA ASTERICS PRILIKOM OCJENE KAKVOĆE VODE

Renata Ćuk, Ivan Vučković, Dagmar Šurmanović, Zlatko Mihaljević

SAŽETAK: Cilj ovog rada je prikazati kakvoću rijeke Kupe temeljem bentičkih beskralješnjaka. Istraživanje je provedeno tijekom 2009.-2010. godine, na 12 mjernih postaja raspoređenih duž toka rijeke Kupe. Na svakoj od istraživanih postaja uzorci su sakupljeni sa svih raspoloživih mikrostaništa te je ukupno zabilježeno 112 svojti. Odabrani indeksi koji su korišteni u ovom radu (broj svojti, udio skupina EPT, indeks saprobnosti (Pantle-Buck), BMWP, ASPT, indeksi raznolikosti (Shannon i Simpson), IBR i ALP) izračunati su koristeći Asterics 3.1.1. Software.

Temeljem dobivenih rezultata zaključujemo da multimetrički pristup omogućuje uvid u širi raspon pritisaka i stvaranje potpunije slike biološkog stanja neke tekućice, obzirom na sastav i strukturu bentičkih beskralješnjaka.

KLJUČNE RIJEČI: bentički beskralješnjaci, ASTERICS, kakvoća vode, Kupa

SUMMARY: The aim of this paper is to present the results of the quality assessment of the Kupa river by using benthic macroinvertebrates. The investigation was performed on 12 sampling stations, during the period 2009-2010. Sampling was conducted according to AQEM protocol. A total of 112 taxa were identified. Selected indices used in this study (number of taxa, EPT (%), saprobic index (Pantle-Buck), BMWP, ASPT, Shannon and Simpson diversity indices, IBR and ALP) were calculated by using Asterics 3.1.1. Software.

According to the results obtained, it can be concluded that multimetric approach enables insight into wider range of stressors as well as better understanding of the river status concidering structure of benthic macroinvertebrates.

KEY WORDS: benthic macroinvertebrates, ASTERICS, water quality, Kupa

1. UVOD

Bentički beskralješnjaci predstavljaju jedan od ključnih bioloških elemenata za ocjenu ekološkog stanja slatkih voda jer posjeduju određene prednosti pred drugim skupinama vodenih organizama (Barbour i drugi, 1999). Sastav zajednice bentičkih beskralješnjaka odraz je ekoloških prilika koje vladaju na određenom staništu uključujući razne pritiske

kao što su organsko i anorgansko opterećenje, toksične tvari te hidromorfološke promjene na vodotoku (AQEM, 2002).

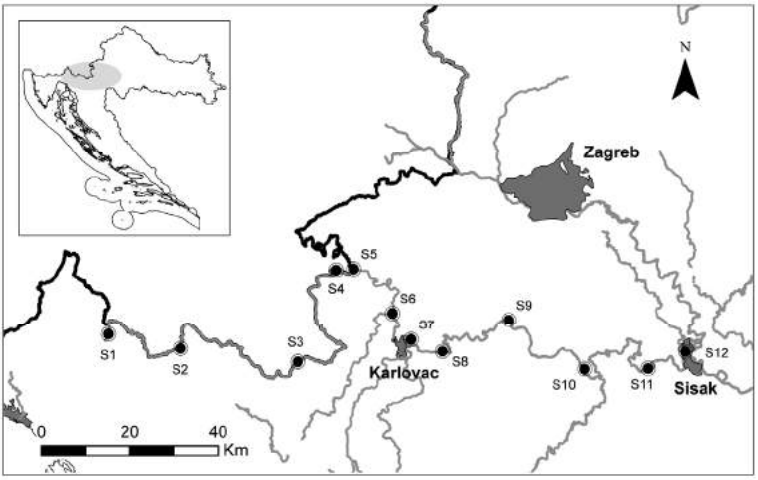
U zemljama EU razvijen je program ASTERICS pomoću kojeg se, temeljem sastava i strukture bentičkih beskralješnjaka, može procijeniti stanje kakvoće voda multimetričkim pristupom (tj. izračunom različitih indeksa, odnosno metrika) (AQEM, 2002). Usporedbom dobivenih rezultata s referentnim vrijednostima moguće je procijeniti utjecaj različitih pritisaka na zajednicu bentičkih beskralješnjaka.

U ovom radu odabrano je nekoliko indeksa koji ukazuju na organsko opterećenje, ali i na opću degradaciju: broj svojti, udio predstavnika EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), IBR (indeks biocenotičkih regija), ALP (Akal+Lital+Psammal preferencija), indeks saprobnosti (SI) (Pantle i Buck, 1955), Shannon-ov (Shannon i Weaver, 1949) i Simpson-ov indeks raznolikosti (Simpson, 1949) te biotički indeksi BMWP i ASPT.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

Uzorkovanje makrozoobentosa na rijeci Kupi provedeno je na 12 mjernih postaja duž cijelog toka rijeke: izvorište (S1), Brod na Kupi (S2), Pribanjci (S3), Bubnjarci (S4), Kamanje (S5), Gornje Pokuplje (S6), Vodostaj (S7), Rečica (S8), Jamnička Kiselica (S9), Šišinec (S10), Brest (S11) i Sisak (S12) (Slika 1).



Slika 1. Karta rijeke Kupe sa označenim mjernim postajama

Rijeka Kupa proteže se kroz obje ekoregije, Panonsku i Dinaridsku (Illies, 1978), a prema tipologiji podijeljena je u tri vodna tipa, 14A, 14C i 6A (Habdija i drugi, 2008).

2.2. Uzorkovanje

Uzorkovanje je provedeno pomoću ručne bentos mreže promjera okašca 500 μm i širine zahvata od 25 cm, te je prema AQEM protokolu (AQEM, 2002) prikupljeno 20 replikativnih poduzoraka na pojedinim mikrostaništima koja su na istraživanom segmentu imala zastupljenost veću od 5%. Obzirom na zastupljenost svakog mikrostaništa

određen je i broj poduzoraka s time da je za zastupljenost od 5% sakupljen 1 poduzorak. Mikrostaništa koja su bila zastupljena s manje od 5% nisu uzorkovana (Hering i drugi, 2004). Uzorkovana površina u svakom uzorkovanju iznosila je 1,25 m2. Uzorci su konzervirani na terenu s 96%-tnim etanolom na način da je konačna koncentracija etanola bila cca 70%, a izolacija životinja je obavljena u laboratoriju pomoću binokularne lupe Olympus (SZX9). Svi prikupljeni organizmi su potom determinirani do najniže moguće sistematske kategorije uz primjenu odgovarajućih ključeva.

2.3. Indeksi za izračun kakvoće vode

Program Asterics bazira se na multimetričkom pristupu, a obuhvaća više od 150 indeksa. Program je prilagođen pojedinim članicama EU, a u fazi izrade je i hrvatska verzija (Asterics 3.1.1 Croatia).

Temelj za izračun različitih indeksa je lista svojti (taksona) sakupljenih na mjestu uzorkovanja. Za svaki tip tekućica koriste se pojedini indeksi (metrike) koji jasno ukazuju na specifične pritiske, te se na taj način može dobiti potpunija slika biološke kakvoće.

Broj svojti (taksona) ukazuje na sastav zajednice, te veći broj svojti odražava i veću raznolikost mikrostaništa, stabilnost same zajednice i, najčešće, bolju kakvoću vode (Plafkin i drugi, 1989). Predstavnici EPT skupina općenito su poznati kao osjetljive svojte, čija je prisutnost i brojnost u direktnoj vezi s mnogim pritiscima. Posebno su osjetljive na smanjenu količinu kisika, smanjenu brzinu strujanja vode te gubitak staništa.

U ocjeni kakvoće voda korišten je i SI, a indikatorske vrijednosti pojedinih vrsta preuzete su iz literature (Wegl, 1983). Saprobni sustav je još uvijek jedna od široko korištenih metoda za procjenjivanje kakvoće površinskih voda koje su opterećene organskim tvarima. Za izračunavanje SI potrebno je sve organizme odrediti do najniže moguće sistematske kategorije, te procijeniti njihovu

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}$$

relativnu zastupljenost ocjenama 1, 3 i 5 (1-pojedinačno, rijetko; 3-srednje, često; 5-masovno).

SI izračunat je po formuli:

gdje je: SI = indeks saprobnosti

si = indikatorska vrijednost za pojedinu vrstu (prema Wegl, 1983)

hi = relativna zsatupljenost pojedine vrste (1, 3, 5)

Biotički indeksi BMWP (Biological Monitoring Working Party) i ASPT (Average Score Per Taxon) baziraju se na prisutnosti odnosno odsustvu tolerantnih i osjetljivih porodica. Vrijednost BMWP indeksa dobiva se zbrajanjem bodova pojedinih porodica utvrđenih u uzorku. Bodovi za svaku porodicu se kreću u rasponu od 1-10, gdje veća vrijednost ukazuje na osjetljiviju porodicu na organsko opterećenje dok manja vrijednost ukazuje na tolerantnije porodice koje mogu podnijeti veće organsko opterećenje (Mandaville, 2002). Prema tome, visoke vrijednosti BMWP indeksa ukazuju na dobru kakvoću vode tj. dominaciju osjetljivih porodica. Vrijednost indeksa ASPT dobiva se dijeljenjem ukupne vrijednosti BMWP s brojem utvrđenih porodica (Friedrich i drugi, 1996).

Za određivanje raznolikosti vrsta primjenjeni su Shannon-ov indeks raznolikosti te Simp-

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} (p_i)(\log_2 p_i)$$

son-ov indeks raznolikosti koji se baziraju na odnosu broja vrsta i njihove zastupljenosti (relativne brojnosti) u zajednici. Pomoću ta dva parametra se definiraju karakteristike zajednice. Indeksi raznolikosti su izračunati prema sljedećim formulama:
gdje je:

$$1 - D = \sum_{i=1}^{s} p_i^{\,2}$$

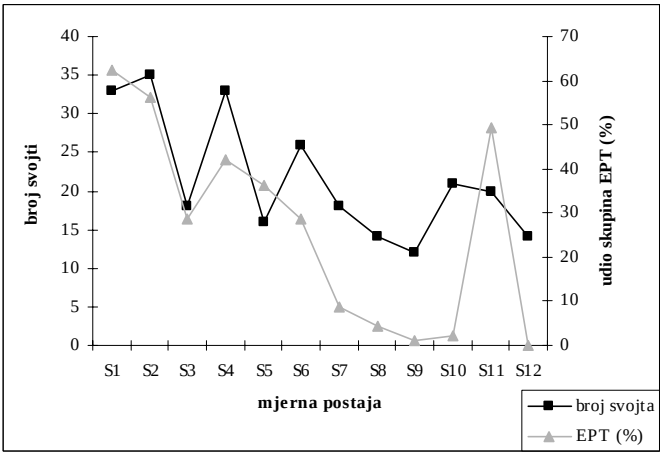
H' = Shannon-ov indeks raznolikosti
pi = udio pojedine vrste u uzorku
s = broj vrsta u uzorku
gdje je:
(1 - D) = Simpson-ov indeks raznolikosti
pi = udio pojedine vrste u uzorku
s = broj vrsta u uzorku

Oba navedena indeksa najčešće se koriste zajedno jer je Shannon-ov indeks osjetljiv na promjene brojnosti rijetkih vrsta, a Simpson-ov na male promjene brojnosti čestih vrsta (Krebs, 1999). Više vrijednosti indeksa raznolikosti u pravilu ukazuju na bolju kakvoću vode. Indeks ALP odnosi se na udio svojti u uzorku koje preferiraju navedeni tip supstrata. Više vrijednosti ovog indeksa ukazuju na dominaciju šljunkovitog i kamenitog supstrata, koji pogoduje predstavnicima skupina koje indiciraju bolju kakvoću vode, poput predstavnika EPT skupina.
IBR indeks je skupni pokazatelj preferiranja pojedinih zona tekućica, obzirom da je za svaku pojedinu vrstu dan njihov odnos prema preferiranju pojedinih zona. Niže vrijednosti indeksa ukazuju na veći udio vrsta koje preferiraju gornje tokove tekućica kao i područja s većom brzinom strujanja vode.

3. REZULTATI I RASPRAVA

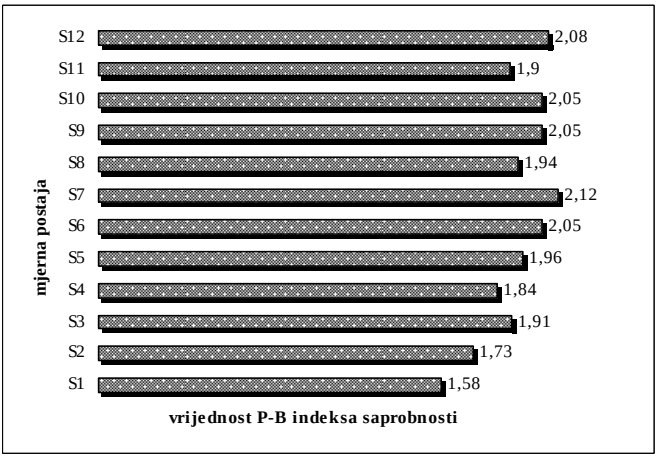
Tijekom istraživanja ukupno su prikupljene 4273 jedinke koje su svrstane u 112 svojti. Skupine Gastropoda (56,4%) i Ephemeroptera (14,2%) bile su brojčano najzastupljenije u svim uzorcima. Skupina Gastropoda bila je zastupljena i s najviše različitih svojti (20), a velikim brojem svojti odlikovale su se i skupine Ephemeroptera (19), Trichoptera (15) te Diptera (14). Ostale utvrđene skupine (Bivalvia, Hirudinea, Arachida, Crustacea, Odonata, Coleoptera, Hemiptera, Plecoptera i Megaloptera) bile su zastupljene manjim brojem svojti.
Najviše svojti (35 svojti) zabilježeno je na mjernoj postaji S2 dok je na postaji S9 zabilježeno svega 12 svojti (Slika 2). Uglavnom se primjećuje tendencija pada broja svojti od izvora prema ušću, što je u skladu s očekivanjima obzirom na karakter supstrata u

gornjim i donjim tokovima. Udio EPT skupina na mjernim postajama se kreće od 0 do 62,3%, te je uglavnom veći na mjernim postajama gornjeg toka u odnosu na donji tok. Izuzetak je mjerna postaja S11 koja se odlikuje relativno velikim udjelom navedenih skupina iako je smještena na donjem dijelu toka. Razlog tome je relativno velika raznolikost supstrata na toj mjernoj postaji što pogoduje EPT skupinama.



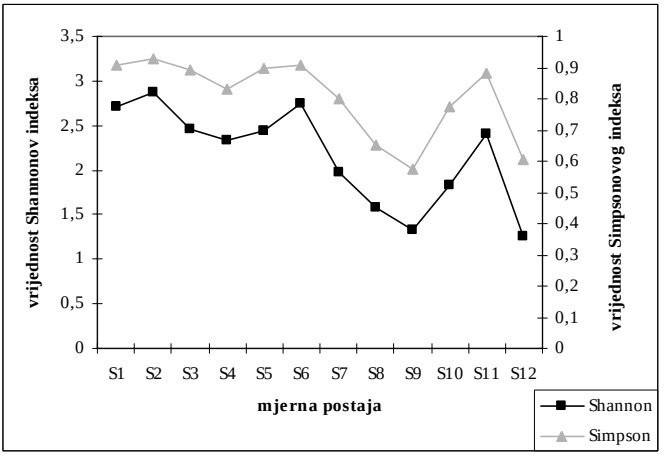
Slika 2. Broj utvrđenih svojti te udio EPT skupina (%) na istraživanim postajama rijeke Kupe

Vrijednosti SI su se kretale u rasponu od 1,58 na mjernoj postaji S1 do 2,12 na mjernoj postaji S7. Mjerne postaje S1 i S2 prema ovom pokazatelju ukazuju na vrlo dobru kakvoću vode (oligosaprobne) dok sve ostale mjerne postaje ukazuju na dobru kakvoću vode (β-mezosaprobne) (Slika 3).



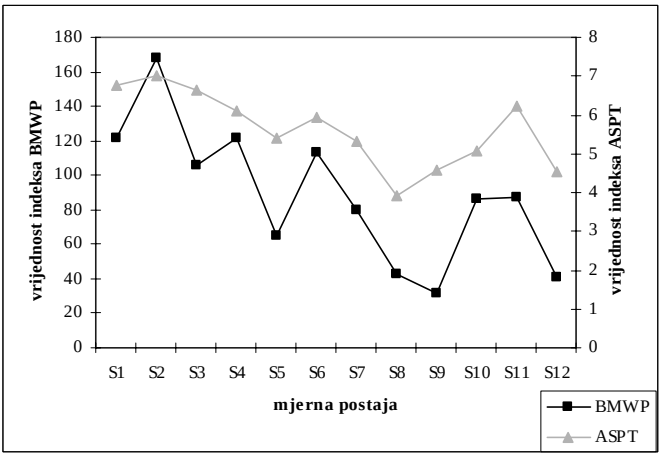
Slika 3. Vrijednosti SI na istraživanim postajama rijeke Kupe

Temeljem Shannon-ovog i Simpson-ovog indeksa raznolikosti najveća raznolikost bentičkih beskralješnjaka zabilježena je na mjernim postajama S1, S2 i S6, dok je najmanja raznolikost utvrđena na mjernim postajama S9 i S12 (Slika 4).



Slika 4. Vrijednosti Shannon-ovog i Simpson-ovog indeksa raznolikosti na istraživanim postajama rijeke Kupe

Vrijednosti indeksa BMWP bile su u rasponu od 168 na mjernoj postaji S2 do 32 na mjernoj postaji S9, dok su se vrijednosti indeksa ASPT kretale u rasponu od 7 na mjernoj postaji S2 do 4,56 na mjernoj postaji S12 (Slika 5).

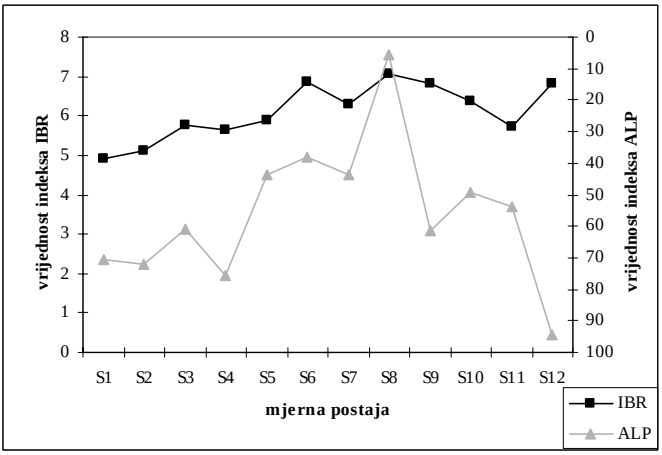


Slika 5. Vrijednosti BMWP i ASPT indeksa na istraživanim postajama rijeke Kupe

Visoke vrijednosti indeksa BMWP (>71) u kombinaciji s visokim vrijednostima indeksa ASPT (>6,00) zabilježene su na pet mjernih postaja (S1, S2, S3, S4 i S11). Prema Mandaville-u (2002) navedene vrijednosti ovih indeksa ukazuju na vrlo dobru i dobru kakvoću vode na tim mjernim postajama. Sve ostale mjerne postaje prema ovim indeksima ukazuju na umjerenu kakvoću vode. Izuzetak je mjerna postaja S9 koja prema indeksu BMWP ukazuje na lošu kakvoću vode (Armitage i drugi, 1983). Broj utvrđenih svojti u uzorku i indeks BMWP međusobno jako koreliraju. No, broj svojti samo daje informaciju o raznolikosti bentičkih beskralješnjaka na ispitivanoj mjernoj postaji, no ne ukazuje na osjetlji-

vost utvrđenih svojti na zagađenje. Za razliku od toga, vrijednost indeksa BMWP daje jasan uvid u kakvoću vode obzirom da utvrđenim porodicama pridodaje vrijednosti 1-10 ovisno o osjetljivosti iste na organsko opterećenje.

Vrijednost IBR indeksa kreće se u rasponu od 4,91 do 6,87 (Slika 6). Vrijednosti navedenog indeksa se uglavnom povećavaju od izvora prema ušću, što je u skladu s očekivanjima, obzirom da niže vrijednosti ukazuju na preferiranje gornjih tokova s bržom strujom vode. Vrijednost ALP indeksa kreće se u rasponu od 5,67 do 94,43 (Slika 6). Više vrijednosti ovog indeksa nalazimo na gornjim tokovima obzirom na dominaciju krupnijeg supstrata, dok niže vrijednosti koreliraju s dominacijom sitnijeg supstrata, što odgovara mjernim postajama donjeg toka. Najniža vrijednost za ovaj indeks zabilježena je na mjernoj postaji S8, koja je smještena u mirnom dijelu toka gdje je broj zabilježenih mikrostaništa bio manji u odnosu na ostale mjerne postaje. Valja napomenuti da je i pristup ovoj mjernoj postaji ograničen zbog zaostalih minsko eksplozivnih sredstava na tom dijelu toka. S druge strane, mjerna postaja S12 ima najvišu vrijednost ovog indeksa iako se nalazi nekoliko kilometara uzvodnije od ušća rijeke Kupe u Savu. Granulometrijski sastav podloge koji je dominirao na ovoj mjernoj postaji je mesolital (veće valutice, 6-20 cm), te je to najvjerojatniji uzrok povećanih vrijednosti ALP indeksa na ovoj mjernoj postaji.



Slika 6. Vrijednosti indeksa IBR i ALP na istraživanim mjernim postajama na rijeci

ZAKLJUČAK

Temeljem provedenog istraživanja na 12 mjernih postaja koje su raspoređene duž cijelog toka rijeke Kupa, a kojim se pokušala utvrditi kakvoća vode iz sastava i strukture zajednica bentičkih beskralješnjaka može se zaključiti da multimetrički pristup, odnosno korištenje raznih indeksa (metrika) koji se nalaze u sklopu programa Asterics omogućuje uvid u širi raspon pritisaka i stvaranje potpunije slike biološkog stanja neke tekućice, obzirom na sastav i strukturu bentičkih beskralješnjaka. Bitno je izvršiti pravilan odabir indeksa (metrika) koji najbolje odražavaju utjecaj određenog pritiska, ili grupe pritisaka, kako bi se što bolje definirao učinkovit sustav ocjene biološkog statusa temeljem bentičkih beskralješnjaka.

Istraživanje je pokazalo i da se neki od indeksa, osim za procjenu organskog opterećenja u tekućicama, mogu koristiti i za procjenu utjecaja drugih pritisaka kao npr. opće degradacije vodotoka.

LITERATURA

[1] AQEM (2002): Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0, February 2002. Contract No: EVK1 CT1999-00027.

[2] Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F. i Furse, M. T. (1983): The Performance of a new Biological Water Quality Score System Based pn macroinvertebrates Over a Wide Range of Unpolluted Running-Water Sites. Water res. 17: 333-47.

[3] Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D. i Stribling, J. B. (1999): Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams, and Wadeable Rivers: Peryphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.

[4] Friedrich, G., Chapman, D. i Beim, A. (1996): The Use of Biological Material in Water Quality Assessment: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2nd ed. Deborah Chapman (ed.). E & FN Spon, New York.

[5] Habdija, I., Kerovec, M., Mrakovčić, M., Plenković-Moraj, A. i Primc-Habdija, B. (2008): Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u Hrvatskoj prema kriterijima Okvirne direktive o vodama. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

[6] Hering, D., Moog, O., Sandin, L. i Verdonschot, P. F. M. (2004): Overview and application of the AQEM assessment system. Hydrobiologia (The Hague) 516, 1-20.

[6] Illies, J. (1978): Limnofauna Europaea, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

[7] Krebs, C. J. (1989): Ecological Methodology. Second Edition. Harper & Row, New York.

[8] Mandaville, S. M. (2002): Macroinvertebrates in Freshwaters – Taxa Tolerance Values, Metrics and Protocols

[9] Pantle R. i Buck H. (1955): Die biologische Überwachung der Gewasser die Darstellung der Ergebnisse, GWF 96.

[10] Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. i Hughes, R. M. (1989): Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/001. 8 chapters, Appendices A-D.

[11] Shannon, C. E. i Weaver, W. (1949): The Mathematical Theory of Communication. Urbana: The University of Illinios Press.

[1] Simpson E. H. (1949): Mesurement of Diversity. Nature 163:688.

Wegl, R. (1983): Index für die Limnosaprobität, Wasser und Abwasser, Band 26, Wien.

AUTORI

Renata Ćuk [a]
Ivan Vučković [a]
Dagmar Šurmanović [b]
Zlatko Mihaljević [c]

[a] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, renata.cuk@voda.hr; ivan.vuckovic@voda.hr

[b] Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, dagmar.surmanovic@voda.hr

[c] Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zoologijski zavod, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, zmihalj@biol.pmf.hr

R 1.40.

ANALIZA PRINCIPA RADA PH TRANSMITERA NOVE GENERACIJE

Damir Žibrat

SAŽETAK: U ovom radu objašnjeni su osnovni fizikalni principi na kojima se temelje pH mjerenja. On line pH mjerenja imaju niz prednosti u odnosu na laboratorijska mjerenja, međutim uređaji za on line pH mjerenja imaju znatno složenije konstrukcije nego laboratorijski uređaji i pored zahtjevne instalacije zahtijevaju i organizirane procedure održavanja i kalibriranja.

KLJUČNE RIJEČI: pH mjerenje, pH transmiter

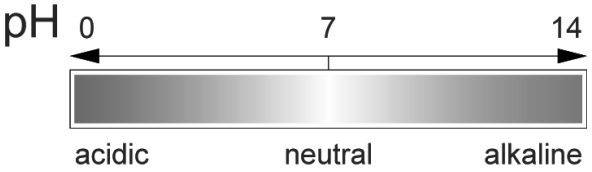
ANALYSE OF WORKING PRINCIPLES OF NEW GENERATION OF PH TRANSMITTERS

SUMMARY: In this paper basic principles of pH measurements are explained. On line pH measurements have many adwantages in comparison with laboratory measurements. But equipment for on line pH measurements has considerably more complicated constructions than laboratory equipment and require appropriate installation and well organised maintenance and calibration procedures.

KEY WORDS: pH measurement, pH transmitter

1. UVOD

Mjerenje pH vrijednosti vodenih otopina jedno je od važnijih mjerenja u kemijskoj industriji, vodoopskrbi i odvodnji. Izmjerena pH vrijednost donosi informaciju o koncentraciji vodikovih iona i time se saznaje da li je vodena otopina neutralna, kisela ili bazična. Na Slici 1 prikazana je skala pH vrijednosti.



Slika 1 pH skala prikazuje da li je otopina neutralna kisela ili bazična

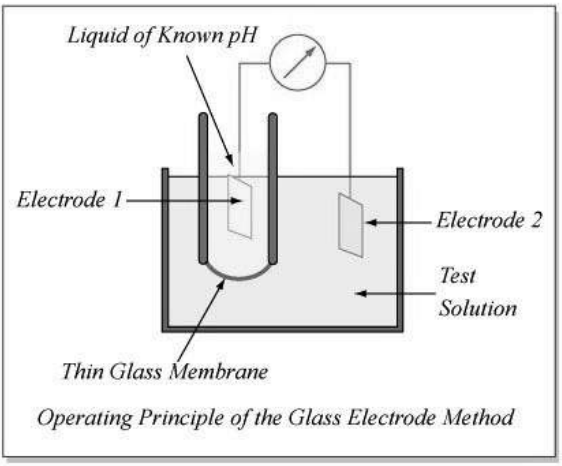
Neutralne otopine imati će pH 7. Kisele otopine imati će pH manji od 7, bazične otopine imati će pH veći od 7.

1.1. Mjerne elektrode

Jedan od rasprostranjenih načina mjerenja pH vrijednosti je upotreba mjerne elektrode (probe) koja se uranja u mjerenu tekućinu. Mjerna elektroda generirati će napon ovisan o pH odnosno napon ovisan o koncentraciji vodikovih iona. Na slici 2 prikazan je izgled pH mjerne elektrode.

Slika 2 pH mjerne elektrode

pH mjerna elektroda sastoji se od staklene cijevi na čijem kraju se nalazi stakleni balon (membrana). Unutar staklenog balona nalazi se elektrolit – tekućina referentne koncentracije pH te metalna žice – električki kontakt. Na slici 3 prikazan je princip rada pH mjerne elektrode.

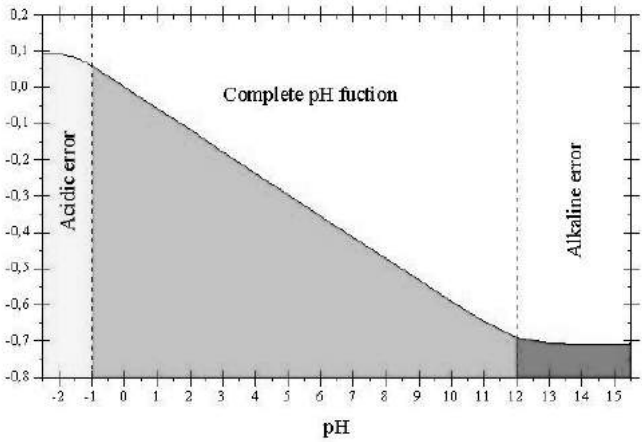


Slika 3 princip rad pH mjerne elektrode (pH probe)

Elektroda 1 uronjena je u tekućinu poznatog pH. Elektroda 2 uronjena je u tekućinu čiji pH mjerimo. Na staklenoj membrani generirati će se napon ovisan o pH vrijednosti mjerene tekućine. Napon na membrani mjeri se na krajevima elektroda 1 i 2. Važno je uočiti:

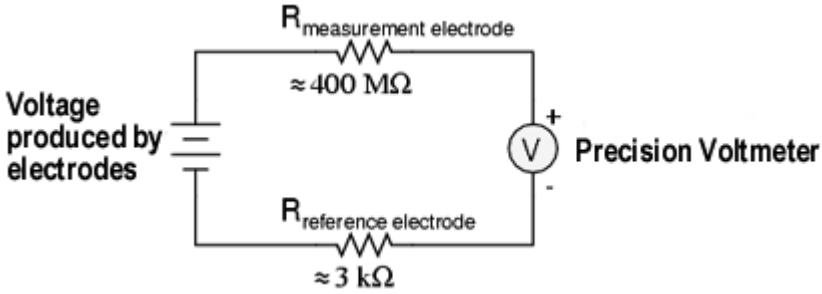
mjerenje pH svedeno je na mjerenje napona između elektroda 1 i 2.

Ovisnost generiranog napona prikazana je na slici 4.



Slika 4 Ovisnost generiranog napona o pH vrijednosti

Mjerne elektrode generirati će 59 mV / pH. Taj napon će prihvatiti elektroničko sklopovlje i dalje ga obrađivati. Na slici 5 prikazan je ekvivalentni strujni krug mjerenja generiranog napona – mjerenja pH.



Slika 5 Shematski prikaz mjerenja napona na pH elektrodi

Generirani napon kod pH mjerenja biti će također ovisan i o temperaturi tekućine, pa je uz mjerenje napona potrebno i mjerenje temperature. Na slici 6 prikazana je ovisnost pH o temperaturi tekućine.

(°C)	*neutral pH*	(°C)	*neutral pH*
0	7,47	30	6,92
10	7,27	35	6,84
15	7,17	40	6,77
20	7,08	50	6,63
25	7,00	60	6,51

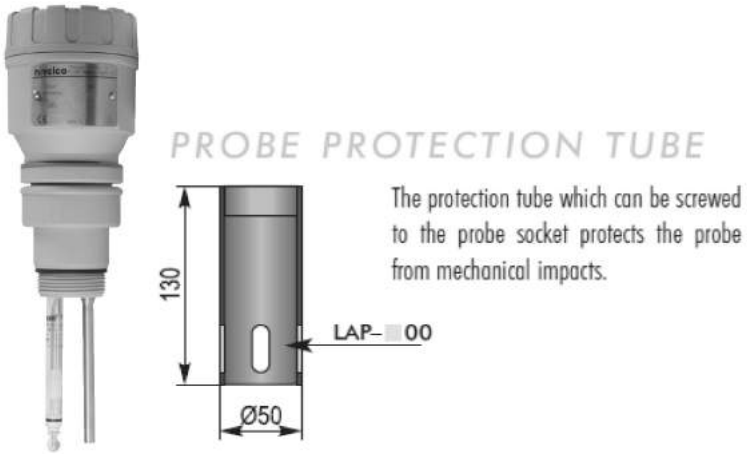
Slika 6 ovisnost pH o temperaturi.

Prikazana vrijednost na displayu pH metra redovito će biti normirana na 25 Celzija, tj pokazivati će se pH vrijednost koju će tekućina imati na 25 Celzija.

Naponski izvor (mjerna pH proba) ima jako veliki unutarnji otpor, cca 400 Megaohma i zahtijevati će ulazna predpojačala vrlo visokih ulaznih impedancija. Mjerenja u laboratorijskim uvjetima neće postavljati teške zadatke za karakteristike opreme, ali laboratorijska mjerenja pH imati će slijedeće nedostatke.

- kemijska svojstva mjerenog uzorka mogu se promijeniti od trenutka uzimanja uzorka do trenutka mjerenja
- uzorkovanje zahtijeva dodatni posao poslužilaca
- trenutno stanje pH vrijednosti neće biti poznato i uzorkovanje 1 -3 puta na dan često neće omogućiti pouzdan nadzor
- neće biti moguće trenutno reagirati na alarmantne vrijednosti pH

Zbog navedenih razloga preporuča se primjena on line pH mjerenja. Na taj način omogućuje se kontinuirani nadzor i brze reakcije biti će moguče. Mjerne sonde u tim slučajevima biti će postavljene u teške uvjete, isto kao i mjerna elektronika. Glavnina on line pH transmitera konstruirana je tako da su mjerne elektrode kabelima (max 10 metara) povezane sa mjernom elektronikom. Ova izvedba ima nedostatak zato jer kabeli moraju imati vrlo visoku impedanciju, podložni su starenju i mogu izazvati smetnje koje se povremeno javljaju. Nadalje konektor mjerne elektrode može biti osjetljiv na teške uvjete rada. Mjerne elektrode potrebno je čistiti i kalibrirati što će izazvati dodatna savijanja kabela i ta mehanička naprezanja će ubrzati starenje materijala. Nadalje budući je elektronika često udaljena od elektrode prilikom kalibracije ljudi se moraju dovikivati, ili će jedan poslužilac hodati od sonde do elektronike što može izazvati dodatne greške. Da bi se izbjegao dio komplikacija kod on line pH mjerenja razvijeni su pH transmiteri nove generacije. Na slici 7 prikazan je pH transmiter nove generacije.



Slika 7 pH transmiter nove generacije i zaštitna kapa

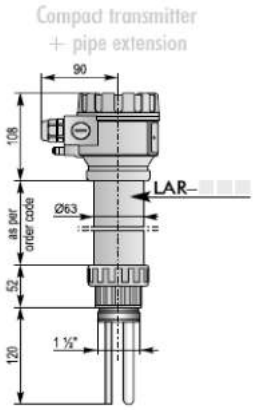
Kod nove generacije pH transmitera izvedene su opcije mehaničkih izvedbi. Transmiter prikazan na slici 7 ima niz prednosti koje mogu omogućiti pouzdaniju i jeftiniju eksploataciju.

Neke osnovne prednosti ove konstrukcije jesu:

- mjerna pH elektroda nalazi se u kućištu sa elektronikom i nisu potrebni dodatni visokoosjetljivi kabeli
- buduči nema visokoosjetljivih kabela konstrukcija je jeftinija
- transmiter ima 4 -20 mA strujni izlaz (i HART) i dovoljne su mu obične žice
- žice mogu biti dugačke nekoliko stotina metara što može imati dodatne prednosti
- na transmiteru se nalazi opcionalni display i jedan operater ga može bez problema kalibrirati
- konstrukcija je robusna, a postoji i mogućnost upotrebe zaštitne kape za elektrode

Slika 8 Opcionalni display na transmiteru

Ukoliko će razina tekućine biti promjenjiva tada se mjerne elektrode mogu smjestiti na produžnu cijev i tako spojiti sa transmiterom.



Slika 9 Mjerne elektrode na produžnoj cijevi.

Ukoliko se pokaže potreba za odvajanjem elektronike od mjernih elektroda tada se može koristiti konstrukcija kao na slici 10.

Slika 10 mjerne elektrode sa zaštitnom kapom sa daljinskom elektronikom (dužina mjernih kabela max 10 m; dužina izlaznih kabela nekoliko stotina metara).

Pored dobre mehaničke konstrukcije i koncepcije, za pouzdana pH mjerenja potreban je i odabir odgovarajuće mjerne elektrode. Na slici 11 dana je tablica nekih elektroda.

pH probes								
Medium	Max. temp. (°C)	Max. pressure (bar)	Min. conductivity (µS/cm)	pH	Probe	Material	Mounting angle	Field of application
Clean water	60	0,5	150	1-12	PHE	glass	max. 45°	drinking water, pool
	60	3		1-12	PHES			drinking water, pool
	80	6		1-12	PHEP			process water, galvanic
	80	8		1-12	PHED			process water, rectified waste water
	100	3/100°C 6/25°C		3-14	PHEP-H			chemical industry
	60	3		1-12	PHEK-L	polycarbonate	max. 90°	drinking water, pool
Solid particles in the medium	80	6	50	1-12	PHER	glass	max. 45°	rectified wastewater
	100	6 / 100°C 16 / 25°C	500	1-12	PHEX			sludge, emulsion

Slika 11 Karakteristike mjernih elektroda

1.2. Čišćenje i kalibracija.

Održavanje mjernih elektroda **ulimativni je zahtjev za pouzdana pH mjerenja**. Mjerna elektroda nalazi se u nečistim vodam i s vremenom će se zaprljati, što može uzrokovati grešku mjerenja. Nadalje sama elektroda se troši i potrebno ju je kalibrirati kako bi se kompenzirala istrošenost. Prije upotrebe on line pH mjernog sustava korisno je konzultirati stručnjake i definirati načine i intervale čišćenja i kalibriranja.

ZAKLJUČAK

On line pH mjerenja mogu u znatnoj mjeri povečati pouzdanost i profitabilnost vodoopskrbnih sustava kao i sustava odvodnje. pH transmiteri nove generacije svojom robusnom izvedbom mogu znatno olakšati eksploataciju uređaja. Pored dobrog uređaja (dobre koncepcije) potrebno je odabrati primjerenu mjernu elektrodu te **organizirati procedure čišćenja i kalibriranja.**

LITERATURA

[1] Damir Žibrat , 16. međunarodno savjetovanje HDO 25 -27 svibnja 2010 Šibenik "Održavanje i upotreba ultrazvučnih nivometara i pH transmitera nove generacije."

[2] NIVELCO AnaCONT LEP Tecnical manual

AUTOR

Damir Žibrat, dipl.ing. [a]

[a] NIVELCO Messtechnik GmbH, Alois-Stummer-Gasse 4, 2326 Maria Lanzendorf, Austria; *dzibrat@nivelco.com , damir.zibrat@utanet.at*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.41.

ZNAČAJKE MONITORINGA POLJOPRIVREDNIH TALA NA PODRUČJU MELIORACIJSKOG KANALA ZA NAVODNJVANJE BIĐ-BOSUTSKOG POLJA

D. Petošić, I. Mustać, V. Filipović, D. Holjević, M. Galiot, A. Brajković, M. Klarić

SAŽETAK: Od Rimskog carstva do današnjeg doba promišlja se i traži kraći put kojim bi se kanalom povezao Dunav sa Savom. Od osamostaljenja Hrvatske osvježava se zamisao o Kanalu, da bi Vlada RH 1991. godine donijela „Odluku o pripremama za gradnju višenamjenskog kanala Dunav-Sava". Državna uprava za zaštitu okoliša 1999. godine donosi Rješenje u kojemu je ocijenjeno da su predviđeni zahvati vezani za izgradnju kanala prihvatljivi za okoliš uz provedbu programa praćenja stanja u okolišu. U ovom radu sažeto su prikazane neke od temeljnih značajki monitoringa poljoprivrednih tala u razdoblju od 2000. - 2006. godine na Pilot području istraživanja, koje se nalazi u sklopu Melioracijskog kanala za navodnjavanje Bić-bosutskog polja, kao prve faze izgradnje višenamjenskog kanala Dunav – Sava (VKDS-a).

Temeljem navedenog, za razdoblje istraživanja (2000. – 2006.) provedena je sažeta analiza utjecaja klimatskih prilika na bilancu vode poljoprivrednih tala. Na temelju kontinuiranog praćenja dinamike podzemnih voda prikazane su osnovne značajke vodnog režima poljoprivrednih tala unutar područja istraživanja u „nultom" stanju (stanje prije izgradnje kanala).

Uporabom matematičkog modela analiziran je mogući utjecaj VKDS-a i Melioracijskog kanala na promjenu vodnog režima tala nakon njegove izgradnje. S aspekta mogućeg onečišćenja voda iz pravca poljoprivrede analizirana je sadašnja poljoprivredna proizvodnja, i njen utjecaj na ispiranje dušika i fosfora, odnosno kakvoću podzemnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: monitoring, Kanal Dunav-Sava, Melioracijski kanal, navodnjavanje, poljoprivreda, vodni režim tla, kakvoća voda

ZNAČAJKE MONITORINGA POLJOPRIVREDNIH TALA NA PODRUČJU MELIORACIJSKOG KANALA ZA NAVODNJVANJE BIĐ-BOSUTSKOG POLJA

SUMMARY: Since the days of the Roman Empire attempts have been made to find a shorter way of connecting the rivers Danube and Sava with a canal. The idea of canal construction was reactualized after Croatia gained its independence in 1991. and then the

Government of the Republic of Croatia passed the "Decision on preparatory works for the Danube-Sava Canal construction". In 1999. the National Environmental Protection Agency passed a Decision approving the foreseen interventions relating to canal construction as environmentally acceptable provided an environmental monitoring program is implemented. The paper gives a concise description of the characteristic features of agricultural soil monitoring in the period 2000. -2006. in the Pilot area, located within the Amelioration Canal for Bić-Bosut field irrigation, as the first construction phase of the multifunctional Danube-Sava Canal (MDSC).

In view of the above-mentioned data, a concise analysis of the influence of climatic conditions on water balance in agricultural soils was made for the investigation period (2000. – 2006.). Based on permanent monitoring of groundwater dynamics, major characteristics of the water regime in agricultural soils of the studied region, at "zero" state (before canal construction), are presented in the paper.

A mathematical model was used to analyze the potential impact of MDSC upon changes in the water regime of soils after the canal construction. From the aspect of potential water contamination by agriculture, an analysis was made of the current agricultural production, and its influence to nitrogen and phosphorus leaching and groundwater quality.

KEY WORDS: monitoring, Danube-Sava canal, amelioration canal, irrigation, agriculture, soil water regime, water quality

1. UVOD

Najveći dio prikazanih rezultata u ovom radu dobiven je na osnovi monitoringa na Pilot području istraživanja koje obuhvaća oko 7.200 ha isključivo poljoprivrednih površina koje se nalaze u neposrednoj zoni Melioracijskog kanala. S obzirom na bogatstvo zemljišta kao glavnog prirodnog resursa, poljoprivreda je najznačajnija sastavnica gospodarstva na prostoru Melioracijskog kao i budućeg VKDS-a. Osnovna su obilježja poljoprivrednih gospodarstava na ovom prostoru ta da su ona miješana, dakle ratarsko-stočarska, s intenzivnim ratarenjem i intenzivnim uzgojem blaga (Petošić et al. 2006). Treba naglasiti da visoka razina gospodarenja na većem dijelu ovog područja povlači za sobom i veću potrošnju mineralnih i organskih gnojiva. Prema podacima Mesića i sur. (2002), Vukovarsko-srijemska županija, koja ujedno površinski i najviše participira u razmatranom području, vodeća je u Hrvatskoj po potrošnji mineralnih gnojiva po jedinici poljoprivredne površine sa 476 kg/ha. Neprijeporno je da će budući kanal Dunav-Sava kao i Melioracijski kanal za navodnjavanje imati snažan utjecaj na prirodne resurse i poljoprivredne ekološke sustave, prije svega na tlo i vode na cijeloj dužini trase od Vukovara do Slavonskog Šamca. Razumljivo je stoga da moguće promjene agroekoloških uvjeta, prije svega vodnog režima tla i kakvoće vode, za uzgoj poljoprivrednog bilja zbog izgradnje kanala treba predviđati i, koliko god je to moguće, održavati pod nadzorom kako bi se prije svega izbjegli negativni, a osnažili pozitivni utjecaji koji se izgradnjom Melioracijskog i VKDS-a ostvaruju.

2. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje u ovom radu je obavljeno na užem području (Pilot području) budućeg višenamjenskog kanala Dunav - Sava (VKDS-a), koje obuhvaća poljoprivrednu površinu

od 7.200 ha. U geografskom pogledu područje istraživanja se nalazi u Bić polju na prijelazu između Brodsko-posavske i Vukovarsko-srijemske županije. Istraživano područje je smješteno uz neposrednu trasu budućeg kanala na dionici od 46+500 do 57+500 km, odnosno na potezu naselja Kladavac, B. Greda, Gundinci i Sikirevci. Analiza potrebnih klimatskih pokazatelja za 29 godišnje razdoblje izvršena je prema podacima s najbliže meteorološke postaje (Gradište kod Županje). Metodom po Thorntweitu izrađen je proračun bilanciranja vode. Napravljena su (2000. godine) i detaljna pedološka istraživanja s izradom pedološke karte u mjerilu 1:10.000 za poljoprivredno područje u neposrednoj zoni kanala, na površini od 9 155 ha. Monitoring dinamike podzemnih voda na području od 7.200 ha s težištem na kolebanje njene razine u profilu do 4,0 m dubine vršen je kontinuiranim opažanjem putem hidropedoloških piezometara. Iz numeričkih podataka o razini podzemne vode u piezometrima formirani su za razdoblje od 01.06.2001. do 01.06.2006. godine osnovni i dekadni nizovi hidroloških veličina na kojima je napravljena matematičko-statistička obrada, koristeći statistički računalni program SPSS for Windows. Modeliranje toka podzemnih voda u neposrednoj blizini VKDS-a te njegov utjecaj na njihovu dinamiku izrađeno je uz pomoć programa VS2DTI Ver.1.2 koji je izrađen u US Geological survey. Kakvoća podzemnih voda u pokrovnom (talnom) dijelu profila do 4,0 m dubine praćena je na ukupno 40 lokacija. Uzorkovanje vode iz piezometara izvršeno je svakih 60 dana ili 6 puta godišnje, odnosno 30 puta tijekom razdoblja 2002. - 2006. godine. U svim uzorcima vode analizirani su slijedeći pokazatelji: nitrati, fosfati i teški metali: bakar (Cu), cink (Zn), kadmij (Cd), olovo (Pb), željezo (Fe), mangan (Mn) i nikal (Ni). Kakvoća procjednih voda vršena je posredstvom lizimetarskih istraživanja.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Utjecaj klimatskih prilika na bilancu vode

Prema višegodišnjem prosjeku (1981. – 2009.) na ovom području padne 682 mm oborina, srednja godišnja temperatura zraka iznosi 11,6 ºC, a relativna vlaga 74 % (tablica 1).

U prosjeku najviše oborina padne u mjesecu lipnju 81,4 mm, a najmanje u veljači 34,4 mm. Srednja mjesečna temperatura zraka u prosjeku je najveća u srpnju 21,9 ºC, a najmanja u siječnju 0,5 ºC. U mjesecu prosincu srednja mjesečna relativna vlaga zraka je najveća 85 %, a u travnju najmanja 66 %. U analiziranom razdoblju, maksimalna mjesečna količina oborina pala je u lipnju 216,8 mm (2001.), a najmanja u listopadu 0,2 mm (1995.).

Sred. mjes. i god. vrijednosti	Mjeseci												Godišnja vrijednost
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Oborine, mm	47,1	34,4	49,1	54,9	58,1	81,4	58,6	58,0	63,1	61,6	61,8	53,5	681,5
Temp. zraka, °C	0,5	2,3	7,0	12,0	17,2	20,1	21,9	21,4	16,8	11,9	6,1	1,8	11,6
Rel. vl. zraka, %	83	76	69	66	67	70	68	70	75	78	82	85	74

Tablica 1. Temeljni pokazatelji klimatskih prilika tijekom 29 - godišnjeg prosjeka (1981. – 2009.)

U tablici 2 prikazan je proračun bilance vode u prosječnom tlu (višak i manjak), za razdoblje 2000. – 2009. (prosjek), te 2003. (sušnu) i 2004. (humidnu) godinu.

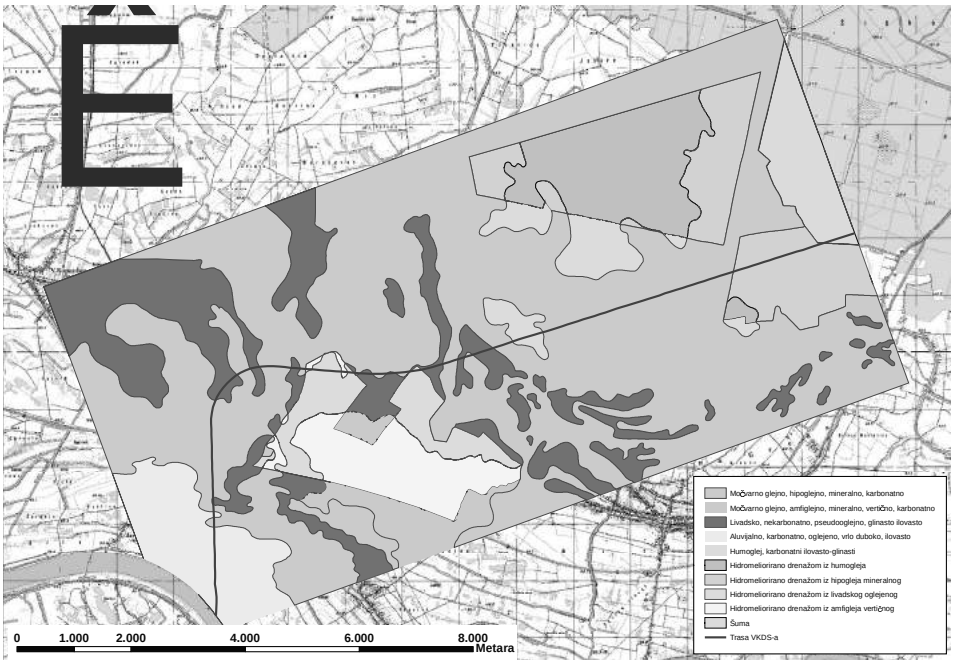
Tijekom prošlog desetogodišnjeg razdoblja (2000. – 2009.) prosječna godišnja vrijednost viška vode u tlu na području istraživanja iznosila je 179,2 mm, a manjka 214,1 mm. Najveći višak vode u tlu valja u prosjeku očekivati u hladnijem dijelu godine. Tijekom humidnih godina (2004.) valja računati sa znatno većim godišnjim vrijednostima viška vode 320,0 mm. Prosječna godišnja vrijednost manjka vode u navedenom razdoblju iznosila je 214,1 mm. U izrazito sušnoj 2003 godini, godišnja vrijednost je bila znatno veća i iznosila je 315,7 mm. Manjak vode u tlu kao što je razvidno u prosječnoj godini javlja se tijekom ljetnog razdoblja od mjeseca svibnja do rujna.

Bilanca vode, mm	Razdoblje	Mjeseci												God. vrijed.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Višak vode	2000-09	48,3	27,3	25,2	18,3	2,4	4,3	0,0	0,0	3,2	3,1	21,4	25,7	179,2
	2003	58,2	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	12,3	87,0
	2004	75,6	55,3	9,6	95,8	23,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2	40,9	320,0
Manjak vode	2000-09	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	31,5	76,7	71,3	22,8	8,6	0,5	0,0	214,1
	2003	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	78,5	97,4	89,2	31,7	0,0	0,0	0,0	315,7
	2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	19,0	30,6	0,0	0,0	0,0	63,9

Tablica 2. Proračun viška i manjka vode u tlu prema metodi Thornthwaite-a

3.2. Pedološke značajke istraživanog Pilot područja

Na temelju detaljnih terenskih i laboratorijskih pedoloških istraživanja, a uvažavajući postojeću klasifikaciju tala (Škorić i sur., 1985) na širem istraživanom području od 9.155 ha ukupne površine je determinirano ukupno devet pedosistematskih jedinica. Zastupljenost i prostorni raspored izdvojenih pedosistematskih jedinica prikazan je na slici 1. Valja naglasiti da je dominantno tlo hipoglej mineralni karbonatni, koji zauzima 4.826 ha ili 52,6 % od ukupno (9.155 ha) istraživanog područja. Hidromeliorirano tlo otvorenim kanalima i cijevnom drenažom zauzima 1.824 ha ili oko 20 % istraživanog područja.



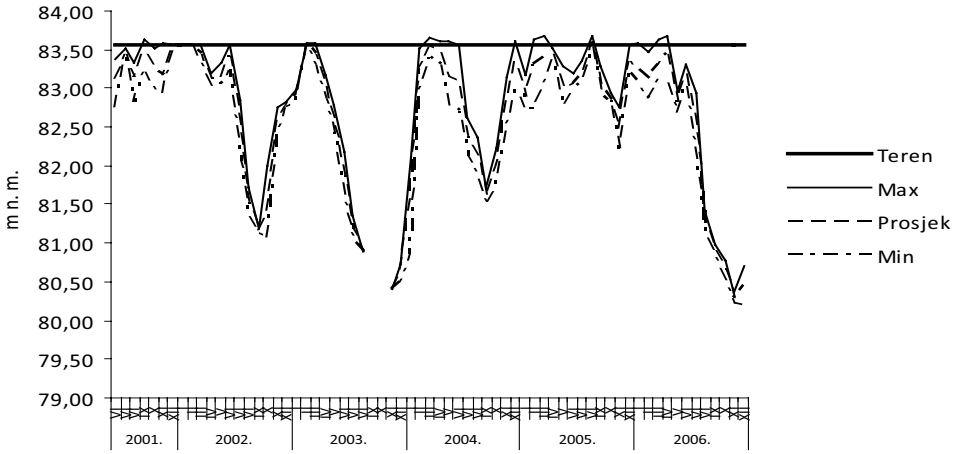
Slika 1. Pedološka karta Pilot istraživanog područja (9.155 ha)

3.3. Dinamika podzemnih voda

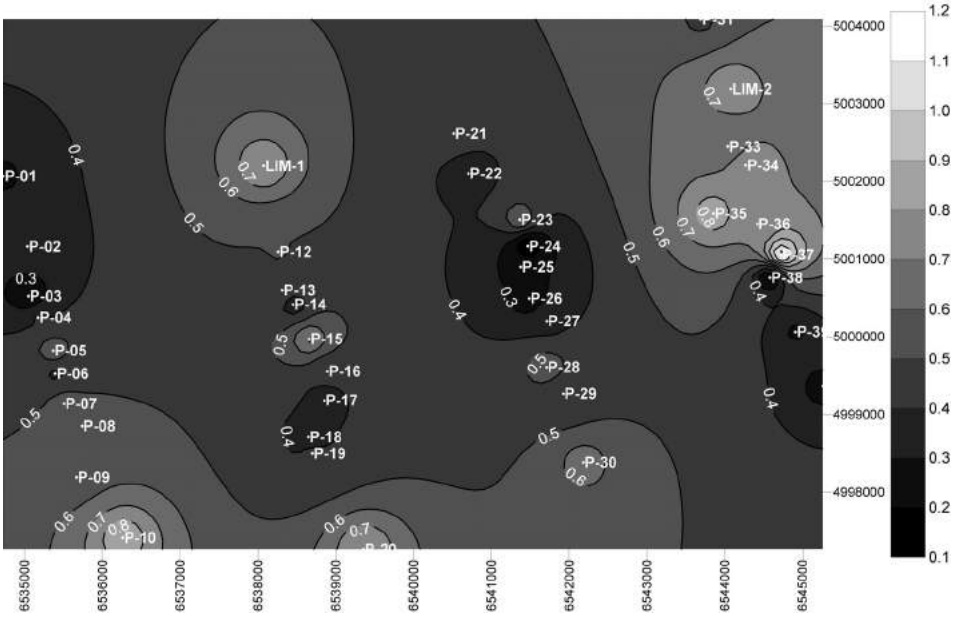
Temeljem višegodišnjeg monitoringa (2001. – 2006.) razine podzemne vode na istraživanom području potvrđeni su sljedeći načini vlaženja poljoprivrednih tala: semiglejni, hipoglejni, humoglejni, amfiglejni i hidromeliorirani. Radi ilustracije na grafikonu 1 prikazan je nivogram hidropedološkog piezometra br. 24 koji potvrđuje hipoglejni način vlaženja tla.

Na osnovi relevantnih pokazatelja, dobivenih višegodišnjim monitoringom razine podzemne vode, izrađene su karte područja s prikazom njene dubine u odnosu na površinu terena. Radi ilustracije na slici 2 daje se prikaz područja tijekom maksimalnih razina podzemne vode.

Valja naglasiti da je tijekom razdoblja istraživanja (2002. – 2006.) utvrđeno godišnje kolebanje razine podzemne vode koje pokazuje izraženu pravilnost po sezonama. Slične rezultate u dolini Save, dobili su Pušić i Škorić (1965.), te Dolanjski i sur. (1999.).



Grafikon 1. Nivogram piezometra 24 – hipoglejni način vlaženja tla

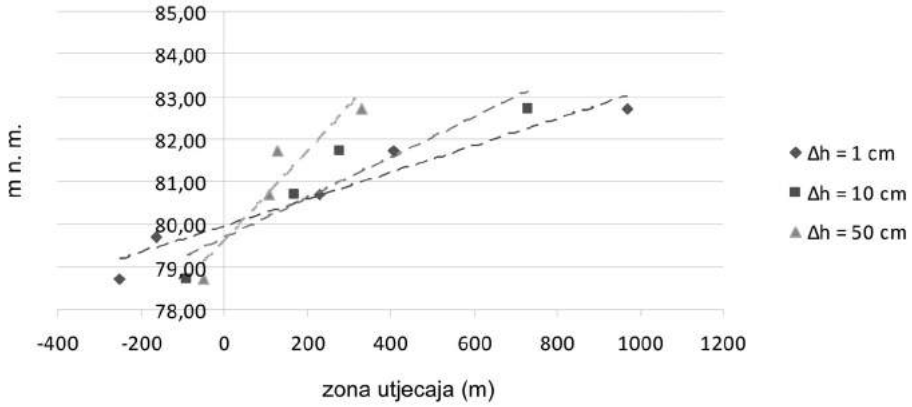


Slika 2. Karta istraživanog područja pri maksimalnim razinama podzemne vode u odnosu na površinu terena, prosječno stanje za razdoblje 2001. – 2006. g.

3.4. Utjecaj budućeg Melioracijskog i Višenamjenskog kanala Dunav-Sava na vodni režim poljoprivrednih tala

Temeljni cilj istraživanja u radu bila je i procjena mogućeg utjecaja budućeg kanala na dinamiku podzemnih voda poljoprivrednih tala, koja se prostiru u njegovom neposred-

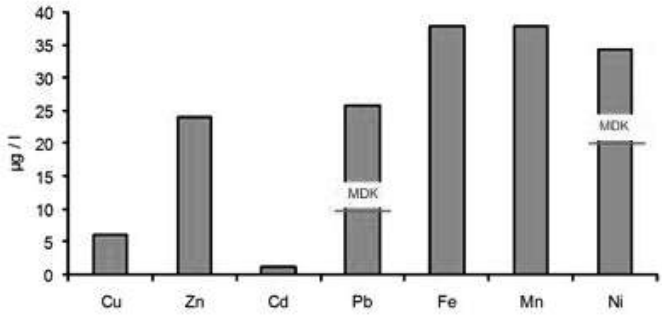
nom zaobalju. Procjena se temelji na matematičkom modelu, pri čemu je općenito usvojena hipoteza da će utjecaj budućeg kanala na dinamiku podzemne vode u tlu ovisiti prvenstveno o geološkoj strukturi i propusnosti slojeva u kojima će kanal biti usječen, razini vode u samom kanalu, kao i razini podzemne vode u tlu. Potvrđeno je da bi budući VKDS na lokacijama promatranih presjeka - Profila, u prosječnim klimatskim godinama, prvenstveno drenirao okolno zaobalno područje. Na lokaciji Profila IV, kanal bi pored drenirajuće, imao i ulogu prihranjivanja soluma poljoprivrednih tala putem infiltracije vode iz njegovog korita (grafikoni 2).



Grafikon 2. Zona utjecaja VKDS-a na razinu podzemne vode u tlu na Profilu IV (Babina Greda – Kladavac)

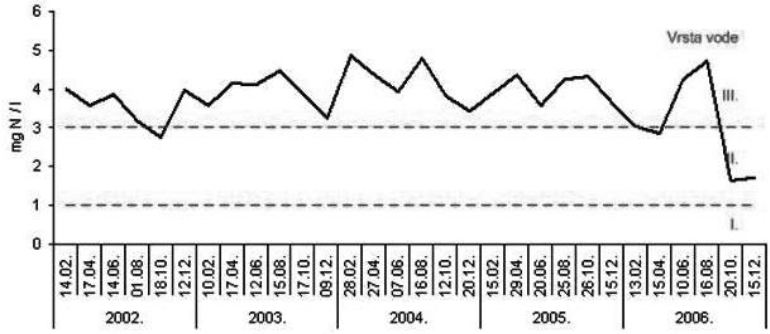
3.5. Značajke monitoringa kakvoće voda unutar područja Melioracijskog kanala

Simboličan dio dobivenih rezultata koje prikazujemo u ovom radu su interpretirani u okviru postojećih propisa vezanih za kakvoću podzemnih i površinskih voda: Uredba o klasifikaciji voda, NN br. 77/98, Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, N.N. 47/08. Istraživanjima je utvrđeno da su srednje vrijednosti koncentracije teških metala u podzemnoj vodi na području istraživanja u razdoblju 2001. - 2003. godine kod većine motrenih metala (osim olova i cinka) bile niže od maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK).



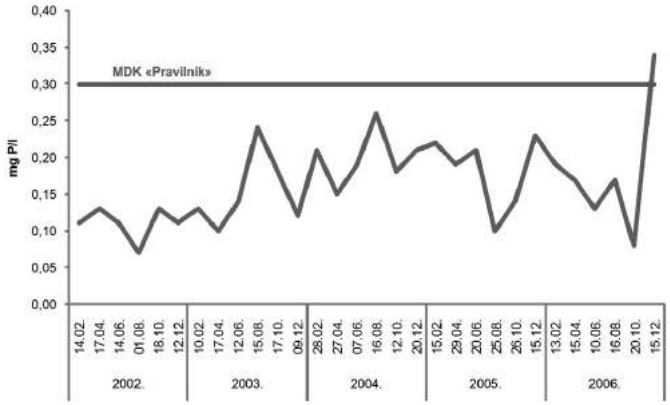
Grafikon 3. Prosječne vrijednosti koncentracije teških metala u podzemnoj vodi na Pilot području istraživanja, tijekom razdoblja 2001-2003 (piezometri 1-40)

Valja naglasiti da je podzemna voda poljoprivrednih tala na području osmatranja prema utvrđenim srednjim vrijednostima koncentracija ukupnog dušika tijekom razdoblja praćenja (2002. – 2006.) odgovarala III vrsti (kategoriji) ekološke kakvoće vode (grafikon 4).



Grafikon 4. Srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika (N) u podzemnoj vodi na Pilot području VKDS-a u osmatranom razdoblju 2002. – 2006. godine (piezometri 1-40)

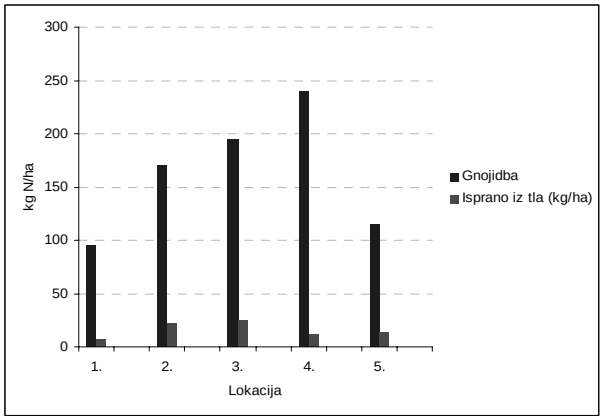
Utvrđeno je također da su srednje vrijednosti koncentracije fosfora (mg P/l) u podzemnoj vodi bile znatno niže od MDK, prema «Pravilniku» (0,30 mg P/l), grafikon 5.



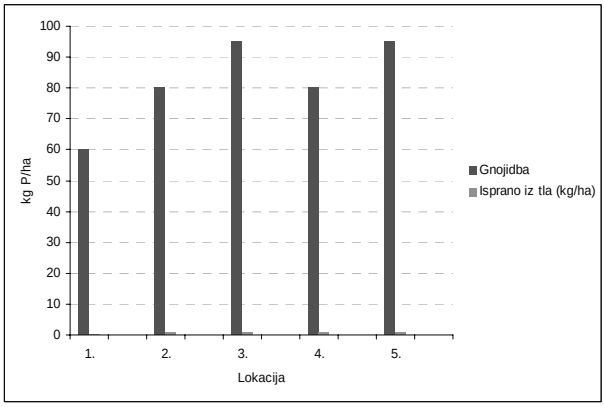
Grafikon 6. Srednje vrijednosti koncentracije fosfora (P) u podzemnoj vodi na istraživanom području, razdoblje 2002. – 2006. godine (piezometri 1-40)

3.6. Utjecaj poljoprivredne proizvodnje na kakvoću voda

Količine dušika, koje su isprane procjednom vodom iz lizimetara (perkolatom) po promatranim lokacijama tijekom razdoblja 2002.-2006. kolebale od minimalnih 4,10 kg N/ha na lokaciji 1. pri uzgoju lucerne (2006. godine) do maksimalnih 38,30 kg N/ha na lokaciji 3., pri uzgoju kukuruza (2004. godine). Godišnje količine ispranog fosfora bile su u rasponu vrijednosti od minimalnih 0,16 kg P/ha na lokaciji 4. (2002. godine) do maksimalnih 2,28 kg P/ha na istoj lokaciji u 2006. godini, pri uzgoju kukuruza (graf 6 i 7).



Grafikon 6. Dinamika ispiranja dušika po promatranim lokacijama (srednje vrijednosti) tijekom razdoblja 2002. – 2006.



Grafikon 7. Dinamika ispiranja fosfora po promatranim lokacijama (srednje vrijednosti) tijekom razdoblja 2002. – 2006.

ZAKLJUČAK

Najveći dio istraživanog Pilot područja čini poljoprivredno zemljište s razvijenom tradicionalnom ratarsko-stočarskom proizvodnjom. Suma godišnjeg viška vode u tlu tijekom razdoblja (2002. – 2009.) iznosila je u rasponu vrijednosti od minimalnih 87 mm (2003.) do maksimalnih 320 mm (2004.), a manjka vode od 64 mm (2004.) do 316 mm (2003.). Na širem području istraživanja koje obuhvaća površinu od 9155 ha, zastupljeno je 9 pedosistematskih jedinica, a močvarno glejno hipoglejno tlo je dominiralo s 4826 ha ili 52,6%.

Na većini površina istraživanog područja modelom je utvrđena drenirajuća zona utjecaja kanala, međutim u uvjetima vrlo duboke razine podzemne vode u tlu (> 3 m od površine terena), na Profilu IV (Babina Greda – Konjsko – Kladavac), Melioracijski i/ili VKDS bi prihranjivao vodom solum poljoprivrednih tala putem infiltracije vode iz korita kanala.

Potvrđeno je, također, da su srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika (mg N/l) u podzemnoj vodi istraživanog područja tijekom razdoblja motrenja (2002-2006) bile znatno niže od MDK prema «Pravilniku» (11 mg N/l) i kolebale su u rasponu od 3,16 mg N/l (prosinac) do 4, 27 mg N/l (kolovoz). Vrijednosti koncentracije fosfora u podzemnoj vodi tijekom istraživanog razdoblja 2002. – 2006. godine, bile su također znatno niže od MDK (0,30 mg P/l). Prema dobivenim količinama ispranog dušika i fosfora općenito se može zaključiti da tradicionalna poljoprivredna proizvodnja na istraživanom području VKDS-a može predstavljati potencijalnu opasnost u pravcu jačeg onečišćenja podzemnih i površinskih voda s dušikom, a u znatno manjoj mjeri s fosforom.

LITERATURA

[1] Bašić, F. (1994.): Trajno motrenje tla u okviru RZ Alpe-Jadran i Podunavlje. Zbornik znanstvenog skupa, Bizovačke toplice, Str. 153-178.

[2] Dolanjski, D., Petošić, D., Stričević, I. (1999.); Dinamika podzemnih voda na dijelu srednje Posavine, Poljoprivredna znanstvena smotra, Volumen 64, br. 1. 49 - 58, AFZ, Zagreb

[3] Mesić, M., Bašić, F., Grgić, Z., Igrc, J., Kisić, I., Petošić, D., Romić, D., Šimunić, I.

(2002.); Procjena stanja, uzroka i veličine pritiska poljoprivrede na vodne resurse i more na području R. Hrvatske, AFZ

[4] Mustać, I. (2004.): Dinamika, podzemnih voda u agroekološkim uvjetima Bić-polja. Magistarski rad, AFZ

[5] Mustać, I., Petošić, D., Tomić, F., Dolanjski, D., Stričević, I. (2007.): Surface and Ground Water Regime in Bić –field Soils. Agricultural Conspectus Scientificus, Vol. 72, No. 1. 59-67

[6] Mustać, I. (2008.): Modeliranje utjecaja višenamjenskog kanala Dunav – Sava na dinamiku podzemnih voda. Doktorska disertacije AFZ

[7] Petošić, D., Bašić, F., Romić, D. (2006.): Utjecaj višenamjenskog kanala Dunav - Sava na agroekosustave njegovog slivnog područja, AFZ

[8] Petošić, D., Tomić, F., Mustać, I., Dolanjski, D., Stričević, I. Dević, D. (2007.): Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala u području višenamjenkog kanala Dunav –Sava. 4. Hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, str:617-625, Opatija

[9] Pušić, B., Škorić, A. (1965.): Prilog poznavanju hidrologije, klasifikacije i odvodnje tala doline Save, Zemljište i biljka, Vol. 14, No 3, 271 – 288, Zagreb

[10] Romić, M. (2002.): Sadržaj, oblici i preraspodjela imisije teških kovina u poljoprivrednim tlima šireg područja Zagreba. Doktorska disertacija AFZ

[11] Tomić, F., Petošić, D., Stričević, I., Dolanjski, D., Mustać, I. (2003): Značajke vodnog režima i stanja tala na području donjeg toka budućeg kanala Dunav-Sava, Zbornik radova, 3. Hrvatska konferencija o vodama, Osijek, str.: 951-959

[12] X (1997.): Kanal „Dunav-Sava“, Geotehnički istražni radovi – II faza, Knjiga 1. Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb

[13] XX Studija (2002.): Vodni režim i stanje tala na području donjeg toka budućeg kanala Dunav – Sava – s monitoringom, AFZ, Zavod za melioracije, str.:1-167

[14] XXX (2001, 2002., 2003., 2004., 2005. i 2006): Vodni režim i stanje tala na području donjeg toka budućeg kanala Dunav – Sava- s monitoringom, Izvješće o radu. AFZ, Zavod za melioracije

[15] XXXX (2006.): Utjecaj višenamjenskog kanala Dunav – Sava na agroekosustava njegovog slivnog područja. AFZ, Zavod za melioracije

AUTORI

D. Petošić[1], I. Mustać[1], V. Filipović[1]

D. Holjević[2]

M. Galiot[3], A. Brajković[3]

M. Klarić[4]

[1] Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, , Svetošimunska 25, Zagreb

[2] Hrvatske vode, Rijeka

[3] Hrvatske vode, Zagreb

[4] Student Agronomskog fakulteta, Zagreb

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.42.

TEŠKI METALI U HIDROMELIORIRANOM TLU I DRENAŽNOJ VODI

Ivan Šimunić, Ankica Senta Marić, Palma Orlović-Leko, Tanja Likso, Franjo Tomić, Tatiana Minkina, Vilim Filipović, Miran Šimunić

SAŽETAK: Istraživanje teških metala Cd, Pb i Zn, u hidromelioriranom tlu i drenažnoj vodi, provedeno je na melioracijskom pokusnom polju "Jelenščak" Kutina, na hidromelioriranom pseudoglej-glejnom tlu u razdoblju od 2007.-2009. Srednje vrijednosti koncentracije metala u tlu (0,2 mg/kg Cd; 18,1 mg/kg Pb i 74,2 mg/kg Zn) i drenažnoj vodi (3,2 µg/L Cd; 3,8 µg/L Pb i 25,0 µg/L Zn) bile su ispod MDK (maksimalno dopuštenih koncentracija). Promatrano hidromeliorirano tlo i drenažne vode, uz postojeći oblik gospodarenja, nisu opterećeni ispitivanim teškim metalima.

KLJUČNE RIJEČI: teški metali, hidromeliorirano tlo, drenažna voda

HEAVY METALS IN HYDROAMELIORATED SOIL AND DRAINAGE WATER

SUMMARY: The investigation of heavy metals cadmium (Cd), lead (Pb) and zinc (Zn) in hydrameliorated soil and drainage water were carried out at the experimental amelioration field "Jelenščak" Kutina, on soil type defined as Gleyic Podzoluvisol, in the period from 2007 until 2009.

The average concentrations values of heavy metals in soil (0,2 mg/kg Cd; 18,1 mg/kg Pb i 74,2 mg/kg Zn) and drainage water (3,2 µg/L Cd; 3,8 µg/L Pb i 25,0 µg/L Zn) were below from maximal admission concentration (MAC). Investigated hydroameliorated soil and drainage water in addition to existing agricultural practices, are not loaded with heavy metals.

KEY WORDS: heavy metals, hydroameliorated soil, drainage water

1. UVOD

Teški metali, kadmij (Cd), olovo (Pb) i cink (Zn) su označeni kao toksične tvari za biljke, životinje, pa i čovjeka (Zn je do određene koncentracije mikro hranjivo u ishrani biljaka).

Prirodno su prisutni u tlu u obliku minerala, a razine su im ovisne o mineralnoj građi i tek-

sturi tla (Pospišilová i Laštincová, 1998). Suvremeno poljodjeljstvo značajno pridonosi otpuštanju metala u okoliš. To se prije svega odnosi na upotrebu fosfatnih mineralnih gnojiva koja sadrže Zn i Cd. Važan izvor metala su i pesticidi (često sadrže značajne količine Pb). Unos teških metala iz atmosfere oborinama, u površinski sloj tla može također biti značajan. Izgaranje fosilnih goriva, industrija, neprimjereno odložen otpad, spaljivanje otpada kao i ispušni plinovi automobila, povećavaju koncentracije teških metala u atmosferi.

Teški metali u tlu predstavljaju važan izvor u ishrani biljaka i ulaze u hranidbeni lanac (Borůvka i drugi, 1997). Metali su uglavnom topljivi u kiselim otopinama pa ih biljke lako asimiliraju. Da bi metal bio pristupačan biljci mora biti u ionskom stanju ili vezan za otopljene organske komplekse. U različitim sustavima tlo-biljka metali mogu predstavljati potencijalnu opasnost za okoliš (Mikanová i drugi, 2001).

Određena količina istaloženog metala može biti izgubljena i odnesena iz tla u podzemne vode. U kojoj će mjeri metal biti zadržan u tlu ili ispran iz njega, ovisi o sastavu tla i o vrsti metala (Berthelsen i drugi, 1995).

U Hrvatskoj su velike površine hidromeliorirane i velika pozornost treba bi biti usmjerena na zaštitu ovih tala.

Trogodišnja istraživanja (2007.-2009.) imala su sljedeći cilj:

- Utvrditi koncentraciju teških metala (Cd, Pb i Zn) u hidromelioriranom Gleyic Podzoluvisol (0-30 cm)
- Utvrditi koncentraciju teških metala (Cd, Pb i Zn) u drenažnoj vodi i količinu ispiranja

Nadalje, da bi se utvrdilo da li na ispitivanom području dolazi s vremenom do akumulacije metala u tlu, ili njihovog gubitka iz tla, izračunat je ukupni ulaz i izlaz iz promatranog sustava na osnovi izmjerenih koncentracija i količine oborina.

2. METODE I MATERIJAL

Trogodišnja istraživanja (2007.-2009.) teških metala kadmija (Cd), olova (Pb) i cinka (Zn) u hidromelioriranom tlu i drenažnoj vodi provedena su na melioracijskom pokusnom polju "Jelenščak" Kutina, na hidromelioriranom pseudoglej-glejnom tlu (slika 1).

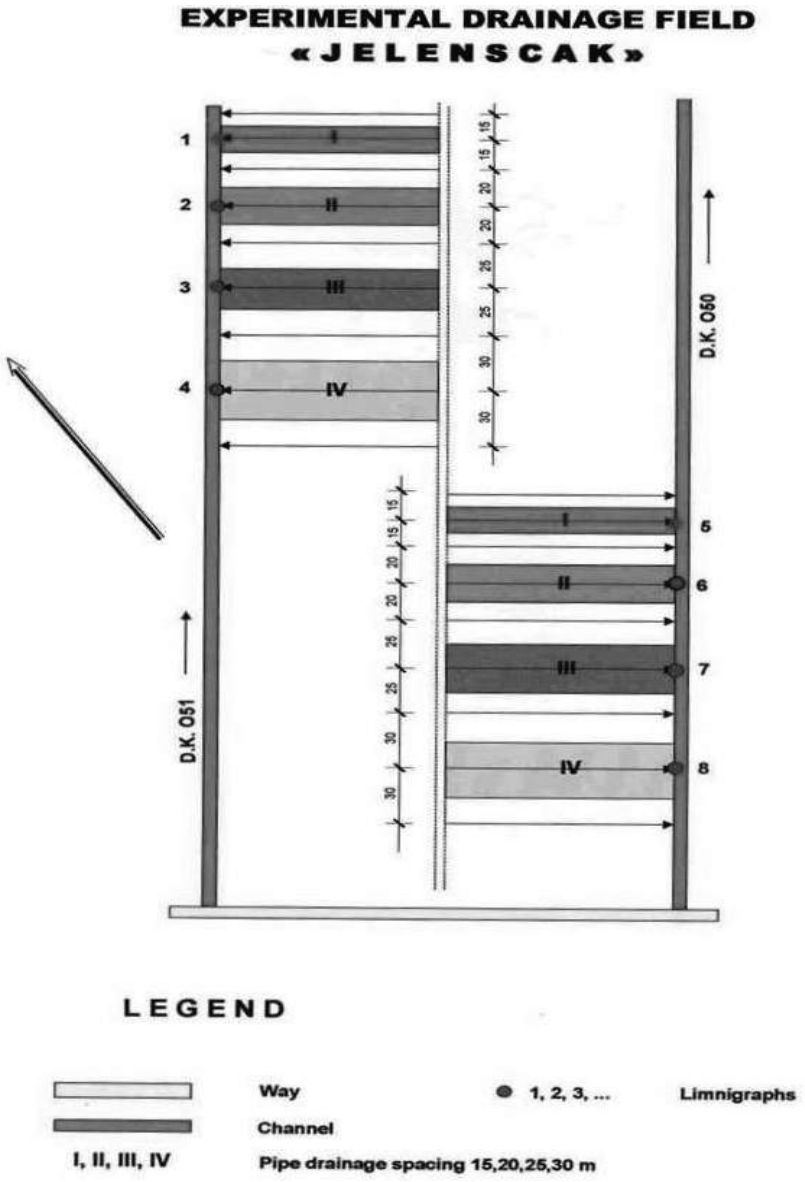
Tlo je drenirano sa četiri različita razmaka drenažnih cijevi (15 m, 20 m, 25 m i 30 m), postavljenih u četiri ponavljanja. Drenirane varijanate imaju površinu: 1425 m^2 (za razmak cijevi od 15 m), 1900 m^2 (20 m), 2375 m^2 (25 m) i 2850 m^2 (30 m). Drenažne cijevi su u kombinaciji sa kontaktnim materijalom šljunkom. Dužina cijevi na svim varijantama je 95 m, promjer 65 mm, prosječni pad 3 promila i prosječna dubina 1 m, i ulijevaju se izravno u kanal. Drenažno istjecanje mjereno je neprekidno pomoću limnimetra, koji je postavljen na izljevu cijevi u kanal (za svaku varijantu jedan limnimetar).

Klimatski podaci korišteni su sa meteorološke postaje Sisak.

Test kultura na svim varijantama u 2007. i 2009. godini bila je ozima pšenica, dok je u 2008. godini bila soja. Na svim je istraživanim varijantama razmaka cijevi u jednoj godini uzgoja kulture primijenjena jednaka agrotehnika.

Uzorci drenažne vode uzimani su na izljevu drenažnih cijevi u kanal. Uzorkovanje tla (na

dubini 0-30 cm) i vode bilo je u nekoliko navrata tijekom godine. Priprema uzoraka tla obavljena je mikrovalnom digestijom u zlatotopci, a određivanje je obavljeno na aparatu ICP-OES. Koncentracija teških metala u vodi određena je AAS (atomskom apsorpcijskom spektrometrijom), uz grafitnu kivetu za određivanje Cd i Pb. Količina svakog ispranog metala izračunata je na temelju njegove prosječne koncentracije na svakom razmaku cijevi i količine drenažnog isteka na svakoj drenažnoj cijevi u svakoj godini.



Slika 1. Eksperimentalno melioracijsko polje

3. REZULTATI

3.1. Važnije značajke tla

Mehanički sastav obradivog horizonta je praškasta glina, spada u poroznu kategoriju sa visokim kapacitetom za vodu i vrlo malim kapacitetom za zrak, kao i vrlo malom vodopropusnošću. Sadržaj humusa je dobar, dok je sadržaj P_2O_5 i K_2O vrlo nizak (tablica 1).

Horizont	Dubina (cm)	Sadržaj čestica (%)		Poroznost (%)	Kapacitet (%)		Volumna težina (kg/dm^3)	Vodopropusnost (m/dan)	pH KCl	Humus (%)	P_2O_5	K_2O
		Prah	Glina		Voda	Zrak					mg/100 g tla	
Ap	0-35	47	46	48	44	4	1.35	0.011	5.3	3.03	1.51	8.3
Bt,g	35-75	45	48	49	45	4		0.011	5.2			
Gso	75-115	55	39	46	42	4		0.011	7.1			

Tablica 1. Važnije značajke tla-Gleyic Podzolluvisol

3.2. Klimatske i hidrološke značajke

Prema analizi ukupnih godišnjih oborina (tablica 2) i ukupnog drenažnog isteka za različite razmake cijevne drenaže (tablica 3), razlike su vidljive, kako između testiranih razmaka u svakoj godini, tako i između godina. Razlike u količini drenažnog isteka između razmaka cijevi u pojedinoj godini su manje nego razlike u količini drenažnog isteka između godina. Razlike u količini drenažnog isteka između drenažnih cijevi unutar jedne godine su prouzročene funkcionalošću drenažnih sustava (Šimunić, 1995), dok na razlike drenažnih isteka između godina moglo je utjecati više čimbenika, kao što su količina i raspored oborina tijekom godine, uzgajana kultura i dr. Utvrđena je vrlo visoka korelacija između visine oborina i drenažnog isteka na svim razmacima drenažnih cijevi. Koficijent korelacije se kretao od r=0,974 (za razmak cijevi od 20m) do r=0,980 (za razmak cijevi od 25 m).

G.\Mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
2007	81,5	57,5	85,3	6,5	92,3	42,9	26,5	54,7	140,8	141,1	96,9	73,1	**899,1**
2008	30,5	7,9	114,5	47,6	36,2	154,5	119,8	65,2	98,3	88,1	86,1	101,1	**949,8**
2009	113,2	40,4	53,6	31,3	44,2	153,2	171,4	37,3	30,2	88,4	102,2	94,8	**960,2**

Tablica 2. Mjesečna i godišnja količina oborina (mm), MP Sisak

Razmak cijevi (m)	God\M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
15	2007.	38	25	31						35	59	38	27	**253**
20		38	25	31						35	58	39	27	**253**
25		38	24	31						33	56	38	27	**247**
30		38	24	30						31	56	37	26	**242**
15	2008.	27	5	46	10		24	5			11	26	64	**218**
20		27	5	44	11		24	5			11	24	64	**215**
25		27	6	44	10		23	6			12	25	63	**216**
30		28	6	45	8		22	3			12	25	63	**212**
15	2009.	67	19	24	7		32					25	53	**227**
20		65	18	25	7		31					23	52	**221**
25		66	20	24	8		29					24	52	**223**
30		65	18	23	7		27					23	52	**215**

Tablica 3. Mjesečno i godišnje drenažno istjecanje (mm) po razmaku cijevi

3.3. Unos teških metala u tlo

Količina unijetih teških metala u tlo kroz primjenu mineralnih gnojiva i oborinama (mokra depozicija) prikazano je u tablicama 4. i 5.

Godina	Primijenjena količina (kg/ha)	Koncentracija metala (mg/kg)			Količina unijeta u tlo (g/ha)		
		Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn
2007	415	25,0	2,1	0	8,38	0,87	0
2008	400	25,0	2,1	0	10,00	0,84	0
2009	500	25,0	2,1	0	12,50	1,05	0

Tablica 4. Koncentracija teških metala u mineralnim gnojivima (mg/kg) i količina unijeta u tlo (g/ha)

Godina	Količina unosa u tlo (g/ha)		
	Cd	Pb	Zn
2007	11,25	54,15	135,60
2008	10,14	58,14	127,25
2009	10,85	46,52	146,54

Tablica 5. Količina teških metala unijeta u tlo putem oborina (mokra depozicija) (g/ha)

Iz tablica 4 i 5 razvidno je da postoje razlike u količini unosa teških metala u tlo u pojedinoj godini, kako kroz primjenu mineralnih gnojiva tako i putem oborina.

3.4. Teški metali u drenažnoj vodi i njihovo ispiranje

Razmak cijevi (m)	Cd (µg/l)			Pb (µg/l)			Zn (µg/l)		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
15	3,0	3,4	3,0	3,9	3,8	3,8	25,5	25,4	25,5
20	3,1	3,5	3,0	3,8	3,8	3,7	26,9	23,6	24,8
25	3,1	3,3	3,1	3,9	4,0	3,7	24,4	24,4	26,1
30	3,1	3,3	3,0	3,8	3,9	3,8	25,4	22,9	25,6
	*IV vrsta (2,0-5,0)			III vrsta (2,0-5,0)			I vrsta (<50)		

* Dopuštene granične vrijednosti pokazatelja za pojedine vrste voda za koncentracije metala, NN 77/98 i NN 137/ 08

Tablica 6. Prosječna koncentracija teških metala u drenažnoj vodi (µg/l)

Rezultati prosječnih koncentracija teških metala u drenažnoj vodi prikazani su u tablici 6, a količina njihovog ispiranja u tablici 7. U tablici 6 vidljive su razlike u koncentraciji teških metala, kako između različitih razmaka cijevi odvodnje, tako i između godina istraživanja, što može biti posljedica funkcije pojedinog sustava odvodnje, uzgajanih kultura, odnosno, primjene određenih agrotehničkih zahvata. Utvrđeni rezultati nisu prouzročili onečišćenje drenažnih voda i podudaraju se sa rezultatima drugih istraživanja (Đumija i Manitašević, 1989; Moore, 1981 i Šimunić i drugi, 2002). Slično koncentraciji, postoji razlika i u količini ispranih količina teških metala (između varijanti razmaka i godina). Najveća količina svih ispranih teških metala bila je u 2007. godini, tj. kod najvećeg drenažnog isteka (tablica 3), dok u 2008. i 2009. godini količina ispiranja je bila različita, vjerojatno zbog male razlike u količini drenažnog isteka u navedenim godinama. Tako je količina Cd u 2008. godini bila veća (na svim razmacima cijevi) nego u 2009., Pb podjednaka (na prva dva razmaka veća u 2008. i obrnuto, u 2009. veća na druga dva razmaka cijevi), dok je količina ispranog Zn bila veća u 2009. godini (na svim razmacima cijevi) nego u 2008. godini. Prema Bear i Verryjit (1987) promjene u količini i postotku ispiranja Zn i Cd ovise većinom o oborinama, odnosno o količini i brzini drenažnog isteka, koji ima utjecaj na transport teških metala.

Razmak varijanata (m)	Cd			Pb			Zn		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
15	7,59	7,41	6,81	9,87	8,28	8,63	64,52	55,37	57,89
20	7,84	7,53	6,63	9,61	8,17	8,18	68,06	50,74	54,81
25	7,66	7,13	6,91	9,63	8,64	8,25	60,23	52,70	58,20
30	7,50	7,00	6,45	9,20	8,27	8,17	61,47	48,55	55,04

Tablica 7. Količina teških metala ispranih drenažnom vodom (g/ha)

3.5. Teški metali u hidromelioriranom tlu

Razmak varijanata (m)	Cd			Pb			Zn		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
15	0,2	0,2	0,2	18,1	18,1	18,1	74,2	74,2	74,2
20	0,2	0,2	0,2	18,1	18,1	18,1	74,2	74,2	74,2
25	0,2	0,2	0,2	18,1	18,1	18,1	74,2	74,2	74,2
30	0,2	0,2	0,2	18,1	18,1	18,1	74,2	74,2	74,2
	*MDK 1-2 mg/kg			MDK 100-150 mg/kg			MDK 150-200 mg/kg		

* MDK (maksimalno dopuštene koncentracije-za glinasto tlo) prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima, NN 32/10

Tablica 8. Prosječan godišnji sadržaj teških metala u tlu (mg/kg)

U tablici 8 vidljivo je da je koncentracija teških metala u hidromelioriranom tlu relativno mala i da je nepromijenjena u sve tri godine istraživanja na svim varijantama razmaka cijevi. Razlog nepromjenjenosti može se tražiti u činjenici da je u svakoj godini (na svim varijantama razmaka cijevi) bilo podjednako unošenje teških metala u tlo gnojidbom i mokrom depozicijom (tablice 4 i 5) i iznošenje ispiranjem (tablica 7) i prinosom usjeva. Ovom prilikom nije razmatrano iznošenje metala uzgajanim usjevima, ali Šimunić i drugi (2002) navode da je kukuruz usvojio ukupno Cd od 0,9 do 1,9 g/ha, Pb od 15,2 do 21,8 g/ha i Zn od 137,0 do 200,7 g/ha, dok je ozima pšenica ukupno usvojila Cd 1,9 g/ha, Pb 16,2 g/ha i Zn 61,3 g/ha. Navedene razlike u balansu unošenja i iznošenja teških metala u tlo/iz tla nisu mogle prouzročiti promjenu njihovih razina u tlu.

U svezi stupnja onečišćenja tla (so) metalima može se zaključiti da je tlo čisto (neopterećeno) u pogledu Cd (so=10%) i Pb (so=12,1%), a povećane onečišćenosti u pogledu Zn (so=37,1%).

ZAKLJUČAK

Na temelju trogodišnjih istraživanja teških metala kadmija (Cd), olova (Pb) i cinka (Zn) u hidromelioriranom tlu i drenažnoj vodi provedenih na melioracijskom pokusnom polju "Jelenščak" Kutina, može se zaključiti sljedeće:

1.Prema dopuštenim graničnim vrijednostima koncentracije pojedinog metala u vodi, (NN 77/98; NN 137/08), drenažna voda prema koncentraciji Cd pripada u IV vrstu, prema koncentraciji Pb u III vrstu i prema koncentraciji Zn u I vrstu.

2. Sadržaj teških metala u hidromelioriranom tlu je u dopuštenim graničnim vrijednostima, prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima, NN 32/10

3. U svezi stupnja onečišćenja tla (so) može se zaključiti da je tlo čisto (neopterećeno) u pogledu Cd (so=10%) i Pb (so=12,1%), a povećane onečišćenosti u pogledu Zn (so=37,1%).

LITERATURA

[1] Bear, J., Verryjit A. (1990): Modeling Groundwater Flow and Pollution with computer programs for sample cases. D. Reidel Publishing company, Dordrecht-boston-Lancaster-Tokyo, p.414.

[2] Berthelsen, B.O., Steinnes, E., Solberg, W., Jingsen, L. (1995): Heavy metal concentration in plant in relation to atmospheric to atmospheric heavy metal deposition. J. Environ. Qual. 24, 1018-1026.

[3] Borůvka, L., Krištoufková, S., Kozak, J., Huan-Wei, Ch. (1997): Speciation of cadmium, lead and zinc in heavily polluted soils. Rostlinná Výroba, 43: 187-192.

[4] Đumija, Lj., Manitašević, J. (1989): Determination of heavy metals and inorganic pollutants in water of canals on experimental field "Ježevo". Agrohemija, No. 1-3: 69-77.

[5] Mikanová, O., Kubát, J., Mikhailovskaya, N., Vörös, I., Biró, B. (2001): Influence of heavy metal pollution on some soil-biological parameters in the alluvium of the Litavka river. Rostlinná Výroba, 47: 117-122.

[6] Moore, J. W. (1981): Influence of Water Movements and other Factors on Distribution and Transport of Heavy Metals in a Shallow Bay (Canada). Arch. Environm. Contam. Toxical, 10: 715.

[7] Pospišilová, L., Laštincová, J. (1998): Determination of some trace elements in soil using ICP-AES Method. Rostlinná Výroba, 44: 427-429.

[8] Šimunić, I. (1995): Reguliranje suvišnih voda tla kombiniranom detaljnom odvodnjom u Lonjskom polju. Agriculturae Conspectus Scientificus 60:279-305.

[9] Šimunić, I., Tomić, F., Kisić, I., Romić, M. (2002): The content of Pb, Zn and Cd in hydroameliorated soil and drainage water and their uptake by plants. Rostlinná Výroba, 48: 401-406.

[10] Uredba o klasifikaciji voda, NN 77/98

[11] Uredba o izmjenama i dopunama uredbe o klasifikaciji voda, NN 137/08.

[12] Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima, NN 32/10

AUTORI

prof.dr.sc. Ivan Šimunić[a]
doc.sc. Ankica Senta Marić[b]
doc.sc. Palma Orlović-Leko[c]
mr.sc. Tanja Likso[d]
akademik Franjo Tomić[a]
prof.dr.sc. Tatiana Minkina[e]
Vilim Filipović, dipl. ing.[a]
Miran Šimunić[f]

[a] Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, *simunic@agr.hr*

[b] Medicinski fakultet, Škola narodnog zdravlja "Andrija Štampar", Rockefellerova 4, 10000 Zagreb, Hrvatska, *asenta@snz.hr*

[c] Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, *paorleko@rgn.hr*

[d] Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb, Hrvatska, *likso@cirus.dhz.hr*

[e] Faculty of Biology and Soil Science, Department of Soil Science, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, *minkina@bio.rsu.ru*

[f] Bs student, Lindenwood University, 209. S. Kingshigway, St. Charles, MO, USA, *miran.simunic@gmail.com*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.43.

PREGLED STANJA TIJELA PODZEMNIH VODA

Daria Čupić

SAŽETAK: Ocjena stanja tijela podzemne vode određena je njegovim količinskim i kemijskim stanjem, ovisno koja od tih dviju ocjena je lošija. Količinsko stanje tijela podzemne vode izražava stupanj ljudskog utjecaja na zalihe podzemne vode, odnosno na njihove razine. Kemijsko stanje tijela podzemne vode određuje se na temelju pokazatelja koncetracija odgovarajućih zagađivala i električne vodljivosti. Pretpostavka za pouzdano ocjenjivanje stanja tijela podzemnih voda je sustavan monitoring količina i kakvoće, koji po broju i rasporedu mjernih mjesta, pokazateljima koji se prate i učestalosti odgovara hidrogeološkoj, fizikalno-kemijskoj i kemijskoj raznolikosti podzemnih voda. U radu je prikazano stanje podzemnih vodnih tijela u Hrvatskoj, prema rezultatima istraživanja Hrvatskog geološkog instituta, Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju i Geotehničkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu. Stanje podzemnih voda je relativno dobro. Identificirana su 4 vodna tijela za koje je ocijenjeno da nisu u dobrom količinskom stanju, većinom zbog intruzija slane vode. Na 6 vodnih tijela utvrđeno je da ne zadovoljvaju kriterije dobrog kemijskog stanja, gdje se u određenom broju slučajeva radi o tvarima prirodnog porijekla, te se ne može očekivati smanjenje njihovih koncetracija niti nakon implementacije programa mjera.

*KLJUČNE RIJEČI***:** tijelo podzemne vode, količinsko stanje, kemijsko stanje, monitoring, dobro stanje, program mjera

OVERVIEW OF THE STATUS OF GROUNDWATER BODIES

SUMMARY: The assessment of the status of a groundwater body is determined by its quantitative and chemical status, depending on which of the two is poorer. The quantitative status of a groundwater body expresses the degree to which groundwater resources, i.e. groundwater levels are affected by human impact. The chemical status of a groundwater body is determined on the basis of the parameters of concentrations of relevant pollutants and electric conductivity. A prerequisite for a reliable assessment of the status of groundwater bodies is systematic monitoring of groundwater quantity and quality, corresponding in terms of the number and distribution of monitoring sites, monitored parameters, and frequency to hydro-geological, physical-chemical, and chemical diversity of groundwater. The paper presents the status of groundwater bodies in Croatia based on the results of research conducted by the Croatian Geological Survey, Institute of Hydrogeologiy

and Engineering Geology and the Geotechnical Faculty, University of Zagreb. The status of groundwater bodies is relatively good. Four water bodies have been assessed as not having good quantitative status, mostly due to saltwater intrusion. Six water bodies have been identified as not meeting the criteria of good chemical status. In a certain number of cases the cause of this are substances of natural origin, whose concentrations cannot be expected to decrease even after the implementation of the programme of measures.

KEYWORDS: groundwater body, quantitative status, chemical status, monitoring, good status, programme of measures

1. UVOD

Teritorij Hrvatske i pripadajuće vode dio su dvaju slivova: vodnog područja rijeke Dunav na sjeveru i Jadranskog vodnog područja na jugu zemlje.

Više od 90% vodoopskrbnih količina gradova i naselja Hrvatske vezano je za vodu u podzemlju. Posebno treba istaknuti kvalitetu podzemnih voda u Hrvatskoj, čime se mogu pohvaliti samo rijetke europske zemlje, pa je stoga razumljiva i briga o stanju tog važnog prirodnog resursa. Ocjena stanja tijela podzemne vode prema Okvirnoj direktivi o vodama 2000/60/EC određena je njegovim količinskim i kemijskim stanjem, ovisno o tome koja od dviju ocjena je lošija.

2. PODZEMNE VODE

Područje Republike Hrvatske možemo podijeliti ovisno o strukturno-geološkim i geomorfološkim obilježjima na panonski i krški dio. Stoga je i inicjalna karakterizacija tjela podzemnih voda provedena zasebno za vodno područje rijeke Dunav (Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju: „Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske“) i Jadransko vodno područje (Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet: „Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj“).

U panonskom dijelu vodnog područja dominiraju aluvijalni vodonosnici međuzrnske poroznosti formirani unutar velikih sedimentacijskih bazena rijeka Drave i Save. Predstavljaju glavni vodoopskrbni resurs sjevernog dijela Hrvatske. Prosječne obnovljive zalihe podzemne vode u panonskom dijelu vodnog područja rijeke Dunava procijenjene su na $3.257*10^6$ m^3/god.

Jadransko vodno područje pokriva najvećim dijelom područje Dinarskog krša, izgrađenog od okršenih karbonatnih stijena, dok samo dio vodnog područja rijeke Dunav od razvodnice sa Jadranskim pripada krškom području. Specifičnost krških vodonosnika su pukotinsko-kvaernozna poroznost, velike brzine podzemnih tokova, okršenost, brzi pornosi onečišćenja sa površine terena u sam vodonosni sloj, duboki podzemni tokovi, istjecanja na izvorima velikih amplituda izdašnosti, dok je kod međuzrnskih vodnosnika karakterističan sasvim drugačiji mehanizam tečenja, te vrlo spori podzemni tokovi i spora izmjena vode.

Prema podacima Hrvatskih voda prosječni godišnji dotok podzemnih voda u krškom dijelu Hrvatske procijenjen je na oko $17.053*10^6$ m^3/god.

U Republici Hrvatskoj identificirana su 32 grupirana vodna tijela. Tome je prethodila inicijalna analiza brojnih utjecajnih elemenata (geološka građa, poroznost, geokemijski sastav, hidrogeološke karakteristike, karakteristike krovinskih naslaga, smjer toka, izdašnost izvora i zdenaca, napajanje, odnos s površinskim tokovima, položaj unutar riječnih slivova) u okviru koje je izdvojeno ukupno 363 homogenih tijela podzemne vode, koja su potom grupirana na temelju sličnosti hidrogeoloških karakteristika vodonosnika i opće sheme "napajanje - tok podzemne vode - istjecanje".

U panonskom dijelu vodnog područja rijekę Dunav utvrđeno je 15 grupiranih tijela podzemne vode prosječne veličine 1.942 km^2. Većina grupiranih tijela podzemne vode ima prekogranični karakter tj. prostiru se u susjedne države: Sloveniju, Mađarsku, Srbiju i Bosnu i Hercegovinu. U krškom dijelu vodnog područja rijeke Dunav izdvojeno je 5 grupiranih tijela podzemne vode prosječne veličine 1.194 km^2, od čega se tri prostiru i u susjedne države, tj. imaju prekogranični karakter.

U jadranskom vodnom području izdvojeno je 12 grupiranih tijela podzemnih voda. U tijelo podzemnih voda Jadranski otoci grupirani su samo veći otoci na kojima ima izvora koji se potencijalno mogu zahvatiti za javnu vodoopskrbu ili se podzemna voda već koristi za javnu vodoopskrbu. Značajno je istaknuti da se veliki dio tijela podzemne vode krškog područja Dinarida izdvojenih u Hrvatskoj prostire u susjedne države Sloveniju i Bosnu i Hercegovinu.

Slika 1. Karta tijela podzemnih voda

3. KOLIČINSKO STANJE TIJELA PODZEMNIH VODA

Količinsko stanje tijela podzemne vode izražava stupanj ljudskog utjecaja na zalihe podzemne vode, odnosno na njihove razine.Vodno tijelo je u dobrom količinskom stanju:

- ako se raspoloživi resurs ne smanjuje uz dugoročnu godišnju količinu zahvaćanja i ako razina podzemne vode nije podložna ljudskom utjecaju koji bi mogao dovesti do: neuspjeha u postizanju ekoloških ciljeva za pridružene površinske vode;

  značajnog pogoršanja stanja pridruženih površinskih voda; bilo kakve značajnije štete po kopnene ekosustave ovisne o podzemnoj vodi; promjene smjera toka zbog promjene razina podzemnih voda, a koji dovodi do prodiranje slane vode ili drugih voda.

Pretpostavka za pouzdano ocjenjivanje količinskog stanja tijela podzemnih voda je sustavan monitoring količina, kako po broju i rasporedu mjernih mjesta, tako i po pokazateljima koji se prate i učestalosti. Motrenje razina podzemnih voda u panonskom dijelu Hrvatske provodi se u okviru nacionalne mreže motrenja od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske. Motrenje je uspostavljeno na više stotina piezometara u dolinama rijeka Drave i Save. Veliki broj piezometara izveden je za potrebe projektiranja i praćenja rada hidroelektrana planiranih i/ili izvedenih na ovim rijekama. Najveći broj ih je u zapadnom dijelu dravskog i savskog bazena. Organizirano motrenje nije uspostavljeno u savskom bazenu nizvodno od Siska, osim na području ekosustava Spačvanske šume. Također, podzemne vode se ne prate ni na brdovitim i brežuljkastim predjelima između dolina rijeke Drave i Save, Karlovačkom bazenu, te Žumberku i Samoborskom gorju.

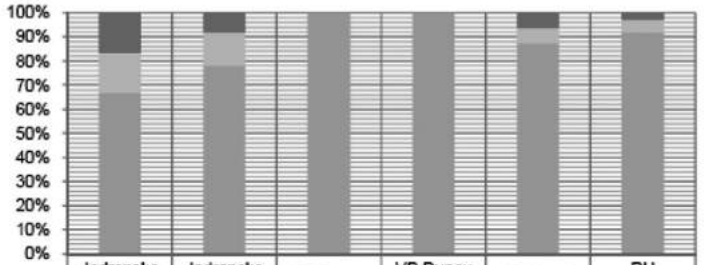
Na krškom području nema sustavnog praćenja dinamike kolebanja podzemnih vode u krškim vodonosnicima, već se o njihovu karakteru zaključuje samo na osnovi rijetkih hidroloških praćenja na krškim izvorima (kao mjestima njihova istjecanja), kao i na hidrološkim postajama lociranim na površinskim vodotocima. Naime, na analiziranom prostoru najveći dio dosadašnjeg monitoringa količinskog stanja krških vodonosnika bio je uglavnom neposredno povezan s vodoistražnim radovima u svrhu ocjene mogućnosti korištenja voda, a tek manjim dijelom u cilju osiguranja općih saznanja o dinamici promjena stanja podzemnih voda.

Zahtjevi koji se odnose na količinsko stanje tijela podzemnih voda u aluviju provjereni su na temelju analize vremenskih serija razina podzemnih voda, vodostaja rijeka i padalina za razdoblje 1997. – 2008 i eksploatacijskih količina podzemnih voda na pojedinim crpilištima

Osnovnu podlogu za obradu količinskog stanja voda na krškom području činila je raspoloživa recentna dokumentacija hidrološke tematike napravljena za Hrvatske vode. Iz usporedbe procijenjenog prosječnog godišnjeg obnavljanja i eksploatacijskih količina podzemne vode vodnog područja rijeke Dunav vidljivo je da se zasad koristi samo manji dio (oko 6%) raspoloživih obnovljivih zaliha, te da su mogućnosti znatno veće. To se osobito odnosi na tijela podzemne vode u krškom području, gdje količina korištene podzemne vode ni za jedno tijelo podzemne vode ne premašuje 2,5% prosječnog godišnjeg obnavljanja. Najveći udio crpnih količina u odnosu na obnovljive zalihe bilježi se na zagrebačkom području i iznosi oko 70%. Pri tome rijeka Sava sudjeluje u obnavljanju vode na crpilištima s oko 67%. Navedene eksploatacijske količine definirane su na temelju izdanih koncesija za zahvaćanje podzemne vode za potrebe javne vodoopskrbe i gospodarstva, koje su veće od stvarno zahvaćenih količina. Analizom vremenskih

serija podataka za aluvijalne vodonosnike utvrđeno je sniženje razina na svim tijelima podzemne vode na kojima postoje podaci. U pravilu, ono nije posljedica prekomjerne eksploatacije podzemne vode, već općeg stanja voda u Hrvatskoj. Trend sniženja razina vode bilježi se u površinskim vodotocima, te u skladu s tim i u vodonosnicima. Posljedica je to produbljavanja dna korita rijeka, te u svezi s tim sniženja njihovih vodostaja, premda se mjestimice ne može zanemariti i eksploatacija podzemne vode. Erodiranje dna korita rijeka posljedica je znatnih morfoloških promjena koje su nastale njihovom regulacijom i regulacijom njihovih pritoka, izgradnjom stotina kilometara nasipa za obranu od poplava, te eksploatacijom šljunka iz korita. U područjima nacionalne ekološke mreže (NATURA 2000) nije izdvojen problem sniženja razina podzemne vode s obzirom na potrebe ekosusta ovisnih o podzemnim vodama. U posebnim slučajevima samo se naglašava potreba očuvanja postojećeg stanja voda.

U skladu s navedenim, sva tijela podzemne vode vodnog područja rijeke Dunav označena su kao tijela u dobrom stanju. To se odnosi i na tijela podzemnih voda u kojima nema organiziranog motrenja pa za njih nije načinjena analiza količinskoga stanja.



	Jadransko VP broj tijela podzemnih voda	Jadransko VP površina tijela podzemnih voda (km2)	VP Dunav broj tijela podzemnih voda	VP Dunav površina tijela podzemnih voda (km2)	RH broj tijela podzemnih voda	RH površina tijela podzemnih voda (km2)
nema podataka						
loše	2	1.673			2	1.673
vjerojatno loše	2	2.940			2	2.940
dobro stanje	8	16.236	20	35.101	28	51.337

Tablica 1. Procjena količinskog stanja tijela podzemnih voda

Ocjena količinskog stanja na jadranskom vodnom području temelji se na ocjeni međuodnosa bilance stanja hidroloških prilika, te informacija o različitim vidovima korištenja voda tijekom razdoblja 2000.- 2007. godina uz napomenu da podaci o korištenjima voda u hidroenergetici uzeti u obzir zbog nedostatka odgovarajućih podataka tijekom analiziranog referentnog razdoblja. U odnosu na prosječni dotok vlastitih voda tijekom referentnog razdoblja 2000.-2007. koristi se oko 3% voda jadranskog vodnog područja odnosno od 7,9% u sjevernoj Istri pa do zanemarivih 1% na jadranskim otocima. Ovaj postotak nije bitno veći niti kada se analiziraju sušna razdoblja. Za dva vodna tijela jadranskog vodnog područja ocijenjeno je da su u lošem stanju (Južna Istra i Ravni Kotari) zbog intruzije slane vode i za dva da su u vjerojatno lošem količinskom stanju (Sjeverna Istra i Neretva) kako zbog intruzije slane vode tako i zbog ugroženosti ekosustava ovisnih o podzemnim

vodama. Za napomenuti je i da su zbog čvrste uzajamne međupovezanosti podzemnih i površinskih voda u kršu, koja na nekim područjima ide i do višestruke pojavnosti iste vode na različitim horizontima istjecanja i cirkulacije, provedenim analizama obuhvaćene i površinske i podzemne vode unutar istih tijela podzemnih voda.

4. KEMIJSKO STANJE TIJELA PODZEMNIH VODA

Kemijsko stanje tijela podzemne vode određuje se na temelju pokazatelja električne vodljivosti i koncentracija odgovarajućih zagađivala. Kemijsko stanje tijela podzemne vode je dobro:

- ako im je kemijski sastav takav da koncentracije zagađivala:

  - ne pokazuju efekte prodora slane vode ili drugih prodora,

  - ne prelaze granice standarda kakvoće primjenjivih po drugim propisima, osobito standarde propisane Pravilnikom o kakvoći vode namijenjene za ljudsku uporabu ("Narodne novine", br.47/08).

  - nisu takve da bi mogle spriječiti postizanje ekoloških ciljeva za pridružene površinske vode, niti značajnije smanjenje ekološke ili kemijske kakvoće tih voda, kao ni značajnije štete po obalne ekosustave koji izravno ovise o dotičnim podzemnim vodama,

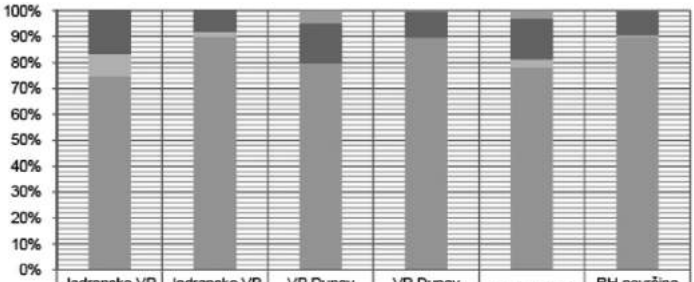
- ako promjene električne vodljivosti ne ukazuju na prodor slane vode ili nekog drugog medija.

Pretpostavka za pouzdano ocjenjivanje stanja tijela podzemnih voda je sustavan monitoring kakvoće, koji po broju i rasporedu mjernih mjesta, sadržaju i učestalosti, odgovara hidrogeološkoj, fizikalno-kemijskoj i kemijskoj raznolikosti podzemnih voda. Ocjena kemijskog stanja podzemnih voda aluvijalnih vodonosnika izvršena je na temelju rezultata nacionalnog monitoringa za 2007. i 2008. godinu i drugih dostupnih podataka. Ukupno je obrađeno 7.374 analiza. Kemijsko stanje podzemnih voda krških vodonosnika procijenjeno je na temelju podataka za razdoblje 2000. - 2007., te drugih izvora podataka. U sklopu nacionalnog monitoringa, dinamika uzorkovanja je bila različita, a mijenjale su se i granice detekcije za pojedine parametre. Neki od parametara kao npr. arsen nije analiziran niti na jednom vodnom objektu na području krša, a neki kao npr. trikloretilen i tetrakloretilen su analizirani vrlo rijetko i to samo na nekim vodnim objektima. Odabir parametara za ocjenjivanje stanja podzemnih voda napravljen je prema Uredbi o standardu kakvoće voda *(NN 089/2010)* (Prilog B) i uključuje: arsen, kadmij, olovo, živu, amonijev ion, kloride, sulfate, nitrate, trikloretilen i tetrakloretilen, ukupne pesticide i električnu vodljivost, a za neka tijela podzemne vode dodani su još neki pokazatelji kakvoće (željezo, mangan i cink, temperatura, pH-vrijednost, otopljeni kisik, mutnoća u krškim vodonosnicima, slobodni ugljični dioksid, ortofosfati, mineralna ulja). Za granične vrijednosti pokazatelja u izdvojenim tijelima podzemne vode uzeta je maksimalno dopuštena vrijednost (MDK vrijednost) prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08). Ovaj pristup je prihvaćen zbog toga što u većini slučajeva ne postoje dovoljno dugi nizovi motrenja pokazatelja koji bi omogućili određivanje prirodne koncentracije i njeno uvođenje kao standarda za ocjenjivanje kemijskog stanja podzemnih voda. Kod ocjenjivanja kemijskog stanja potrebno je imati u vidu da se na dijelu vodnih tijela neki parametri pojavljuju u visokim koncetracijama, ponekad preko MDK

vrijednosti, a prirodnog su podrijetla.Međutim, činjenica je da se na dijelu vodnih tijela neki parametri pojavljuju u visokim koncentracijama (često i preko MDK vrijednosti), a prirodnoga su podrijetla, treba uzeti u obzir kod ocjenjivanja kemijskoga stanja.

Kod ocjenjivanja kemijskog stanja u svrhu definiranja ciljeva zaštite podzemnih voda i planiranja mjera za dostizanje tih ciljeva, u obzir je uzeto samo onečišćenje ljudskog podrijetla.

Prema tom kriteriju, samo jedno vodno tijelo na vodnom području rijeke Dunav (Varaždinsko područje) nije u dobrom kemijskom stanju i to zbog prekoračenja MDK za nitrate,a ljudskog podrijetla. Od ostalih pokazatelja koji su propisani Uredbom, u nekim aluvijalnim vodonosnicima izmjerene su visoke koncentracije arsena, olova i amonija, ali njihovo porijeklo je prirodno i nije ga moguće promijeniti. Isto vrijedi za visoke koncentracije nekih metala (željezo, mangan) u podzemnim vodama, koji su analizirani iako po Uredbi ne spadaju u obvezne pokazatelje kemijskog stanja podzemnih voda. Na tri vodna tijela vodnog područja rijeke Dunav utvrđeno je češće prekoračenje nekih od pokazatelja pa se može reći da je riječ o lošem kemijskom stanju voda na dijelovima grupiranih vodnih tijela, od kojeg je samo jedno vodno tijelo zaista loše (Varaždinsko područje), rezultat ljudskih atkivnosti, dok u druga dva vodna tijela prekoračenje MDK rezultat je prirodnog porijekla.



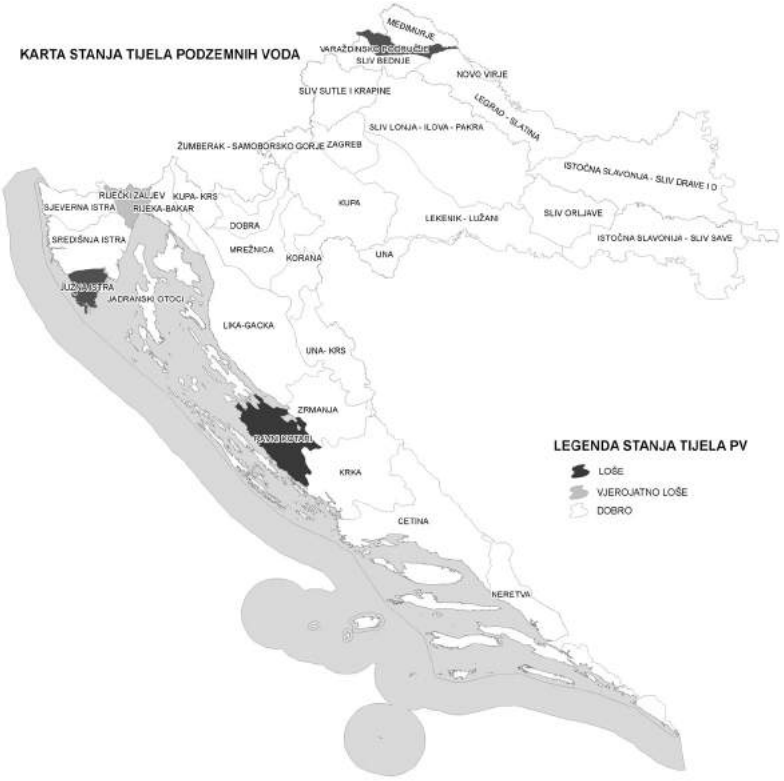
	Jadransko VP broj tijela podzemnih voda	Jadransko VP površina tijela podzemnih voda (km2)	VP Dunav broj tijela podzemnih voda	VP Dunav površina tijela podzemnih voda (km2)	RH broj tijela podzemnih voda	RH površina tijela podzemnih voda (km2)
nema podataka			1	97	1	97
loše	2	1.672	3	3.519	5	5.191
vjerojatno loše	1	440			1	440
dobro stanje	9	18.654	16	31.485	25	50.140

Tablica 2. Procjena stanja kakvoće tijela podzemnih voda

Specifičnosti hrvatskog krša su velike brzine podzemnih tokova, kratko vrijeme zadržavanja vode u podzemlju tijekom velikih voda, zamućenja praćena povećanjem bakteriološkog sadržaja nakon prvih jakih padalina poslije sušnog razdoblja, ali i brzi prolasci tih problema u razdoblju od 1-2 dana i uglavnom istjecanje podzemne vode vrlo dobre kakvoće na izvorima. Naime, nakon velikih kiša u razdoblju od samo 15-tak sati dolazi do pojava povećanja mutnoće i onečišćenja na izvorima i već sljedeći dan ti parametri padnu ispod MDK vrijednosti za pitke vode. Također, Hrvatska ima više od 1.000 kilometara obalne linije i brojne vodonosnike otvorene prema negativnom utjecaju mora. To je posebno izraženo na hrvatskim otocima. Na nekim crpilištima uslijed čak i nor-

malnog crpljenja tijekom ljetnih sušnih razdoblja dolazi do povećanja sadržaja klorida, a na nekim izvorima do zaslanjenja dolazi i u potpuno prirodnim uvjetima. Analiza stanja kakvoće podzemnih voda Jadranskog vodnog područja izdvojila je dva tijela podzemne vode Južnu Istru i Ravne Kotare gdje je narušena kakvoća podzemnih voda. Na području Južne Istre bitno je narušena kakvoća prema više pokazatelja, a najznačajniji su u svakom slučaju nitrati i prijeteće zaslanjenje. U nacionalnom monitoringu, kakvoća podzemnih voda Ravnih Kotara se mjeri na samo dvije lokacije i na njima je zadovoljavajuća kakvoća, no analiza podataka o koncentracijama klorida na crpilištima Zadarskog vodovoda na području Ravnih Kotara iskazala je velike probleme s zaslanjenjem na crpilištima Bokanjac (Jezerce), Boljkovac i Golubinka. I u zaleđu Vranskog jezera kod Biograda, iako na crpilištima nije iskazano analizama crpljene vode, u podzemlju na 20-tak metara dubine je zona miješanja slatke i slane vode i povećanjem crpnih količina može doći do konusnog izdizanja te zone miješanja i zaslanjenja crpilišta. Iz toga je razloga tijelo podzemnih voda Ravni Kotari ocijenjena kao "loše stanje".

Tijelo podzemnih voda Riječki zaljev ocijenjeno je kao "vjerojatno loše stanje" jer je procijena napravljena temeljem hidrogeoloških istraživanja s toga područja i ekspertnim procjenama (nema redovitih opažanja).



Slika 2. Karta kemijskog stanja tijela podzemnih voda

ZAKLJUČAK

Stanje tijela podzemnih voda je relativno dobro. Identificirana su 4 vodna tijela za koje je ocijenjeno da nisu u dobrom količinskom stanju i to uglavnom zbog intruzije slane vode, od toga samo za dva vodna tijela ocijenjeno je da su u lošem stanju (Južna istra i Ravni Kotari). Na 6 vodnih tijela je utvrđeno da ne zadovoljavaju kriterije dobrog kemijskog stanja prvenstveno zbog češćeg prekoračenja dopuštenih koncentracija, pri tome treba naglasiti da se u određenom broju slučajeva radi o tvarima prirodnog porijekla, te da se ne može očekivati smanjenje njihovih koncentracije niti nakon implementacije programa mjera. Kod ocjenjivanja kemijskog stanja u svrhu definiranja ciljeva zaštite podzemnih voda i planiranja mjera za dostizanje tih ciljeva, u obzir je uzeto samo onečišćenje ljudskog porijekla. Prema tom kriteriju, samo jedno vodno tijelo (Varaždinsko područje) nije u dobrom kemijskom stanju i to zbog prekoračenja MDK za nitrate u vodnom poručju rijeke Dunav. Analiza kemijskog stanja tijela podzemnih voda Jadranskog vodnog područja izdvojila je dva tijela podzemnih voda Južnu Istru i Ravne Kotare gdje je narušena kakvoća podzemnih voda. Na području Južne Istre bitno je narušena kakvoća prema više pokazatelja, a najznačajniji su u svakom slučaju nitrati i prijeteće zaslanjenje

Potrebe za primjenom novog načina upravljanja vodama, koji se temelji na integralnom gospodarenju u okvirima održivog razvoja, neprekidni zahtjevi za novim količinama podzemne vode, sve složeniji uvjeti u kojima treba očuvati kakvoću podzemnih voda, te zahtjevi za razinom spoznaja o podzemnim vodama koji proizlaze iz Okvirne direktive o vodama EU, pokazuju da unatoč naoko velike istraženosti cjelokupnog teritorija Hrvatske, ne raspolože se s dovoljno podataka za rješavanje nadolazećih problema u osiguranju količina, kvalitete i zaštiti voda. Pojedina tijela podzemnih voda imaju vrlo slabu prostornu pokrivenost, a samo su rijetka pokrivena odgovarajućom mrežom opažanja, stoga budući nadzorni monitoring podzemnih voda zahtijeva bolju prostornu pokrivenost da se obuhvati ravnomjerno sva podzemna vodna tijela, te u području gdje je ocjenjeno loše stanje, odnosno gdje je vodno tijelo procijenjeno u riziku, kvalitetan operativni monitoring.

U krškim područjima se uočava nedovoljna istraženost granica pojedinih slivova, za što je potrebno provesti hidrogeokemijska istraživanja, te dodatna trasiranja tokova podzemnih voda u različitim hidrološkim uvjetima.

LITERATURA

[1] Hrvatske vode, (2010): Plan upravljanja vodnim područjima – Nacrt

[2] Hrvatske vode, (2010): Plan upravljanja vodnim područjima – Nacrt : Dodatak I – Analiza značajki vodnog područja rijeke Dunav

[*3*] *Hrvatske vode, (2010): Plan upravljanja vodnim područjima Dodatak II – Analiza značajki jadranskog vodnog područja*

[*4*] *Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju,(2009.):„ Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske“ Zagreb*

[5] Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EC

[6] Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08)

[7] Strategija upravljanja vodama NN 91/08

[8] Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, (2009): „ Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj“, Zagreb

[9] Uredba o standardu kakvoće voda (NN 089/2010)

AUTOR

Daria Čupić, dipl.ing.geol.

Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000 Hrvatska, dcupic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.44.

OCJENA STANJA I RIZIKA CJELINA PODZEMNIH VODA NA KRŠKOM PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

**Ranko Biondić, Božidar Biondić,
Josip Rubinić, Hrvoje Meaški**

SAŽETAK: Na području hrvatskog krša za potrebe implementacije Okvirne direktive o vodama (ODV) i izrade Plana upravljanja vodnim područjima izdvojeno je 17 cjelina podzemnih voda (CPV). Za te je cjeline provedena analiza količinskog i kvalitativnog stanja i procjena rizika.

U procjeni količinskog stanja korišteni su mjereni klimatološki i hidrološki podaci, kao i podaci o različitim oblicima korištenja voda, provedene su regionalne hidrološke obrade i procjene kao i ocjena vremenskih trendova stanja. Za 13 CPV je količinsko stanje ocijenjeno dobrim. Za dvije CPV procijenjeno je loše kvantitativno stanje, a kod dviju vjerojatno loše stanje. Procjenom rizika neispunjavanja uvjeta ODV, osim spomenutih dvije CPV u riziku i dvije u vjerojatnom riziku, dodatne dvije CPV uvrštene su u kategoriju "u potencijalnom riziku".

Ocjena kvalitativnog stanja CPV rađena je obradom analiza kakvoće vode (podaci od 2000. do 2007. godine) sa 55 krških izvora. Obrađeni su parametri prema zahtjevima ODV, Direktive o podzemnim vodama i neki dodatni parametri. Utvrđeno je da 13 CPV ima dobro kvalitativno stanje, dvije CPV loše, a za preostale dvije CPV je zbog nedostatka podataka, temeljem ekspertne procjene, utvrđeno vjerojatno dobro stanje. Na temelju ekstrapolacije zabilježenih trendova dane su procjene kretanja značajki pojedinih parametara kakvoće. Utvrđeno je da se jedanaest CPV ne nalazi u riziku, tri CPV su u riziku, a za tri CPV utvrđeno je da se nalaze u potencijalnom riziku.

KLJUČNE RIJEČI: krški vodonosnici, cjeline podzemne vode, Okvirne direktive o vodama EU, procjena količinskog i kvalitativnog stanja i rizika

STATUS AND RISK ASSESSMENT FOR THE GROUNDWATER BODIES IN THE KARST AREA OF THE REPUBLIC OF CROATIA

SUMMARY: In the Croatian karst for the implementation of the Water Framework Directive (WFD) and the development of the River Basin Management Plan were delineated 17 groundwater bodies (GWB). For these bodies quantitative and qualitative status analyses were conducted as well as risk assessments.

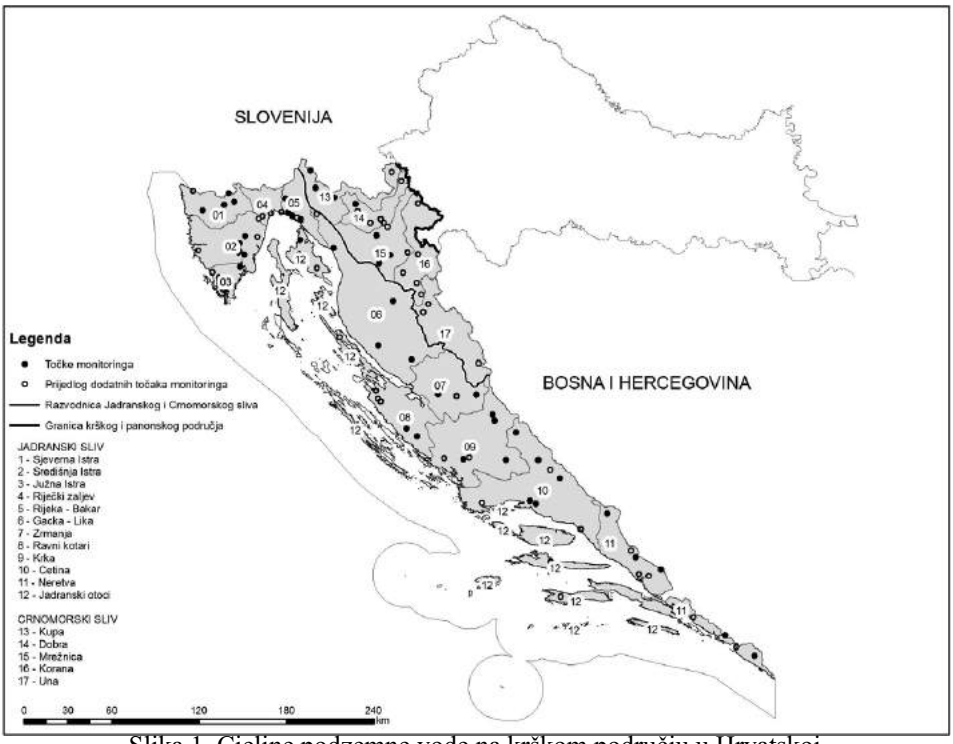
For the quantity status assessment measured climatological and hydrological data and data on various forms of water use were used, regional hydrological analyses and assessments and also the analyses of trends were performed. For 13 GWBs the category "good quantitative status" was determined. For two GWBs "poor quantitative status" was estimated, and for two GWBs "probably bad status" category was appraised. With risk assessment analyses except two GWBs in the category "in risk" and two in the category "probably in risk" two additional GWBs were included in the category "probably at risk".

Assessment of the qualitative status of GWBs was done by processing of water quality analysis results (data from 2000 to 2007) from the 55 karst springs. The parameters according to the requirements of the WFD, Directive on groundwater and some additional parameters were analyzed in the study. It was found that 13 GWBs has a "good quality status", two GWB has a "bad quality status", and for two of them the category "probably good status" were determined on the basis of expert assessments because of the lack of data. Based on extrapolation of trends, assessments of behavior of individual quality parameters characteristics were given. It was found that eleven GWBs are not at risk, only two are at risk, the four of them was found in the category "at potential risk".

KEYWORDS: karst aquifers, groundwater bodies, Water Framework Directives EU, quantity and quality status and risk assessment

1. UVOD

Krški vodonosnici u Republici Hrvatskoj, površine oko 26.750 km^2, razvijeni u jugozapadnom i južnom dijelu Hrvatske (sl. 1), izgrađeni su pretežito od okršenih karbonatnih stijena. Pripadaju makrostrukturnoj jedinici Dinarida, koja se prostire smjerom sjeverozapad – jugoistok od Slovenije preko Hrvatske i Bosne i Hercegovine do Crne Gore. Krški vodonosnici za Hrvatsku znače gotovo polovicu ukupnih raspoloživih količina vode u državi, a za krška područja i Jadransku obalu jedine izvore pitke vode turistički i gospodarski razvijenog područja. Dio krških područja u Hrvatskoj se drenira prema Jadranskom moru, a dio prema Crnom moru.



Slika 1. Cjeline podzemne vode na krškom području u Hrvatskoj

Osnovne karakteristike krških vodonosnika u Dinaridima su specifični površinski i podzemni reljef, prostrani slivovi bogati oborinama (do 4.000 mm godišnje), niske retencijske sposobnosti krškog podzemlja, brzi podzemni tokovi, povremena plavljenja krških polja, pojave velikih krških izvora, višestruko izviranje i poniranje vode unutar istog sliva, duga sušna razdoblja, nedostatak pokrovnih naslaga i značajni utjecaji mora na priobalne vodonosnike. Sve to čini krške vodonosnike prirodno visoko ranjivim medijem s potrebom određivanja posebnih mjera zaštite za očuvanje kvalitete i količina vode. Za vodoopskrbu krškog područja se koristi svega oko 2% ukupnih rezervi podzemnih voda, a gotovo 25% ukupnih rezervi vode akumulira se u brojnim površinskim akumulacijama i koristi za proizvodnju električne energije.

Tijekom implementacije Okvirnih direktiva o vodama Europske Unije u Hrvatskoj napravljena je inicijalna karakterizacija cjelina podzemnih voda (CPV) za područja Jadranskog (Brkić, Ž. i drugi, 2006) i Crnomorskog sliva (Brkić, Ž. i drugi, 2004). Izdvojeno je ukupno 461 cjelina podzemnih voda u Republici Hrvatskoj, od čega 363 u Crnomorskom slivu (49 na području krša) i 98 u Jadranskom slivu. Tako veliki broj cjelina podzemne vode predstavljao je problem za kvalitetnu uspostavu mreže opažanja kakvoće i količina vode, i kvalitetno upravljanje vodnim resursima. Stoga je bilo neophodno provesti grupiranje cjelina podzemne vode ovisno o geološkim, hidrogeološkim, hidrokemijskim i hidrološkim elementima na način da grupirane cjeline podzemne vode omogućuju dovoljno pouzdanu procjenu kvantitativnog (količinskog) i kvalitativnog (kemijskog) stanja podzemnih voda.

U krškom području Hrvatske, za potrebe karakterizacije cjelina podzemne vode prema ODV, nakon provedenog grupiranja, izdvojeno je 17 cjelina podzemne vode, od čega 12 u Jadranskom, a 5 u Crnomorskom slivu (Biondić, R. i drugi, 2009). Jadranski otoci su uključeni kao jedna cjelina podzemne vode, iako svaki od otoka funkcionira kao zasebna cjelina, jer su vrlo sličnih karakteristika (ograničeni vodonosnici, manje količine oborina, problemi sa zaslanjenjem na većini otoka, mali broj točaka monitoringa samo na većim otocima,...).

Veliki broj krških slivova se prostire u susjedne zemlje Sloveniju i Bosnu i Hercegovinu, što otvara potrebu zajedničkog istraživanja i upravljanja prekograničnim cjelinama podzemne vode. Prema jugu Hrvatske se udio prekograničnih cjelina podzemne vode povećava, pa su na najjužnijem dijelu Hrvatske praktički samo izvorišne zone u Hrvatskoj, a najveći dio područja prihranjivanja nalazi se u Bosni i Hercegovini.

U sklopu karakterizacije cjelina podzemne vode prema ODV (WFD, 2000) rađena je procjena kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda.

2. KARAKTERIZACIJA CJELINA PODZEMNE VODE

Analiza opterećenja i utjecaja na cjeline podzemnih voda ljudskom djelatnošću jedna je od analiza koje se trebaju provesti prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama. Prvi korak u procjeni opterećenja i utjecaja je procjena prirodne ranjivosti krških vodonosnika. CIS vodič "Impress" za tu svrhu omogućuje izradu karte prirodne ranjivosti pomoću multiparametarske metode u GIS tehnologiji, pa je ta metodologija korištena i u analizi opterećenja i utjecaja za krški dio Republike Hrvatske.

Za to je korištena neznatno modificirana Nova Europska metoda (EU COST 620, 2004), koja se sastoji od tri faze: analize prirodne ranjivosti, analize hazarda i analize rizika od onečišćenja vodonosnika. Analizom prirodne ranjivosti se temeljem geološke građe vodonosnika, procijenjenog stupnja okršenosti, nagiba terena i količine oborina izdvajaju područja različitog stupnja prirodne ranjivost. Rezultat je karta prirodne ranjivosti, koja je izuzetno korisna pri određivanju zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode, ali i kod prostornog planiranja. Analiza hazarda obuhvaća izradu baze podataka za točkaste i raspršene (npr. poljoprivreda) onečišćivače. Konačni cilj je izrada klasificirane karte onečišćivača, koja osim lokacije prikazuje težinske vrijednosti svakog pojedinog onečišćivača. Posebna pažnja je posvećena utjecaju poljoprivredne djelatnosti, jer su kemijske analize voda na nekim područjima pokazale značajan utjecaj poljoprivrede na podzemne vode. Karta rizika od onečišćenja vodonosnika je izrađena preklapanjem karte prirodne ranjivosti i klasificirane karte hazarda i ukazuje na zone visokih rizika gdje je potrebno usmjeriti posebnu pozornost kod sanacijskih zahvata.

Procjena kvalitativnog stanja rađena je po izdvojenim cjelinama podzemne vode temeljem kemijskih analiza vode nacionalne mreže, koja uključuje 55 krška izvora, i detaljnih analiza za pojedina izvorišta podzemne vode za razdoblje od 2000. do 2007. godine. Za ocjenu stanja su korišteni osnovni parametri prema ODV (WFD, 2000): otopljeni kisik, pH, električna vodljivost (CND), nitrati i amonijak, ali i dodatni parametri: slobodni CO_2, temperatura, ortofosfati, mutnoća, Fe, Mn, mineralna ulja, arsen, kadmij, olovo, živa, kloridi, sulfati, trikloretilen i tetrakloretilen.

Prvi korak kvalitativne analize je određivanje referentnih graničnih kriterija (REF) pro-

pisanih državnom legislativom, a ovisno o korištenju podzemnih voda u CPV. Prema Direktivama o vodama, ali i pratećim tehničkim izvješćima (npr. Towards a guidance on Groundwater Chemical Status and Treshold Values) za dobivanje referentnih vrijednosti (REF) dva osnovna tipa kriterija moraju biti uzeti u obzir, a pri tome treba uzeti u obzir stroži kriterij. To su okolišni kriterij i kriterij korištenja. Od spomenutih kriterija najstroži su određeni za korištenje za potrebe javne vodoopskrbe, a u gotovo svim se CPV nalazi bar jedno crpilište javne vodoopskrbe ili je planirano zahvaćanje. Za ekosustave, a i ostale tipove korištenja, nisu određene referentne vrijednosti po parametrima kakvoće, pa su za referentne uvjete (reference value; REF) uzete maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) za pitke vode propisane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće.

Slijedeći korak određivanja kvalitativnog statusa CPV je određivanje prirodne koncentracije (BL) i granične vrijednosti (TV). BL je određen za samo dio parametara kakvoće obrađenih u analizi stanja kakvoće po CPV jer za ostale opažane parametre nije bilo dovoljno analiza za statističku obradu. Na svim točkama opažanja zabilježeno je BL<REF. U tom slučaju (BL<REF) određivanje TV može se provesti na nekoliko načina:

1. TV=REF
2. TV=0,75*REF
3. $TV = \frac{BL + REF}{2}$

Za potrebe kvalitativne analize korišteno je TV=REF. U slučaju (BL>REF) uzima se TV=BL, no u CPV u kršu Hrvatske nije zabilježen takav slučaj.

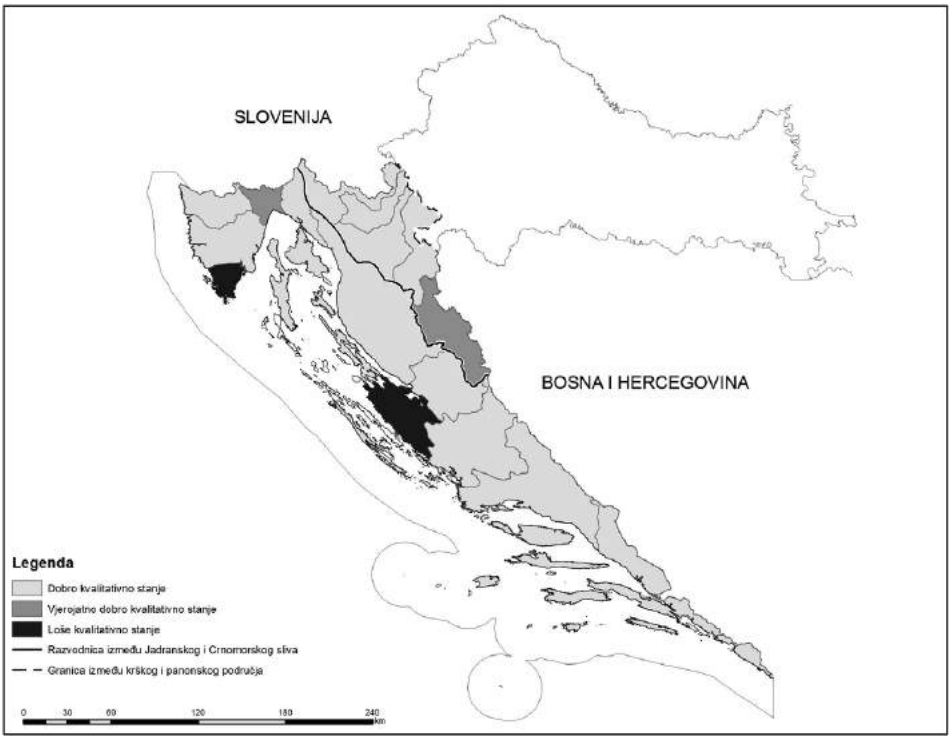
Specifičnosti krških vodonosnika u Hrvatskoj, kao i drugdje u svijetu, su velike brzine podzemnih tokova, relativno kratko vrijeme zadržavanja vode u podzemlju i brze promjene hidroloških uvjeta i kvalitete vode u kratkim vremenskim razmacima. Interesantno je istaći izuzetnu kvalitetu vode tijekom dugačkih ljetnih sušnih razdoblja, što ukazuje na veliku važnost epikrške i nesaturirane zone vodonosnika u sprječavanju infiltracije onečišćenja u saturirane dijelove vodonosnika. Jake oborine nakon dugačkog sušnog razdoblja uzrokuju jaka, relativno kratkotrajna, onečišćenja izvorskih voda, kada pojedini parametri kvalitete vode prelaze MDK vrijednosti. Drugi veliki problem krških vodonosnika su ponegdje duboki prodori mora tijekom ljetnih sušnih razdoblja i eksploatacija pitke vode u labilnim uvjetima odnosa slatke i slane vode.

Ilustrativni parametri za određivanje kvalitativnog stanja krških cjelina podzemnih voda u Hrvatskoj su nitrati. U centralnom dijelu krškog područja (planinsko područje) vrijednosti nitrata su na razini prirodnih vrijednosti sa stalnim ujednačenim trendom niskih vrijednosti. To je pokazatelj ljudskom djelatnošću neopterećenih cjelina podzemne vode na planinskom području Dinarida. S druge strane, u rubnim područjima Dinarida, na dijelovima poluotoka Istre, situacija je znatno drugačija. Iako su vrijednosti nitrata u najvećem broju slučajeva još uvijek unutar referentnih vrijednosti (MDK) nitrata (prosječno 46,35 mg/l NO_3), one su vrlo blizu graničnim vrijednostima. Na Istarskom poluotoku je znatno intenzivnija poljoprivredna djelatnost.

Maksimalno dozvoljene vrijednosti pH (MDK) za pitku vodu kreću se u rasponu 6,5 - 9,5. Unutar tog raspona se nalaze sve analize korištene u studiji ocjene stanja krških cjelina podzemnih voda, međutim trendovi pH za rubne dijelove planinskog područja Dinarida

pokazuju znatno sniženje pH. Trend sniženja vrijednosti pH se uobičajeno povezuje s mikrobiološkim ili kemijskim procesima u prirodnim sustavima kao rezultat onečišćenja, ali može biti i pokazatelj regionalnog pronosa kiselih kiša iz industrijski razvijene sjeverne Italije u slučaju područja Istre i dijela Ravnih kotara.

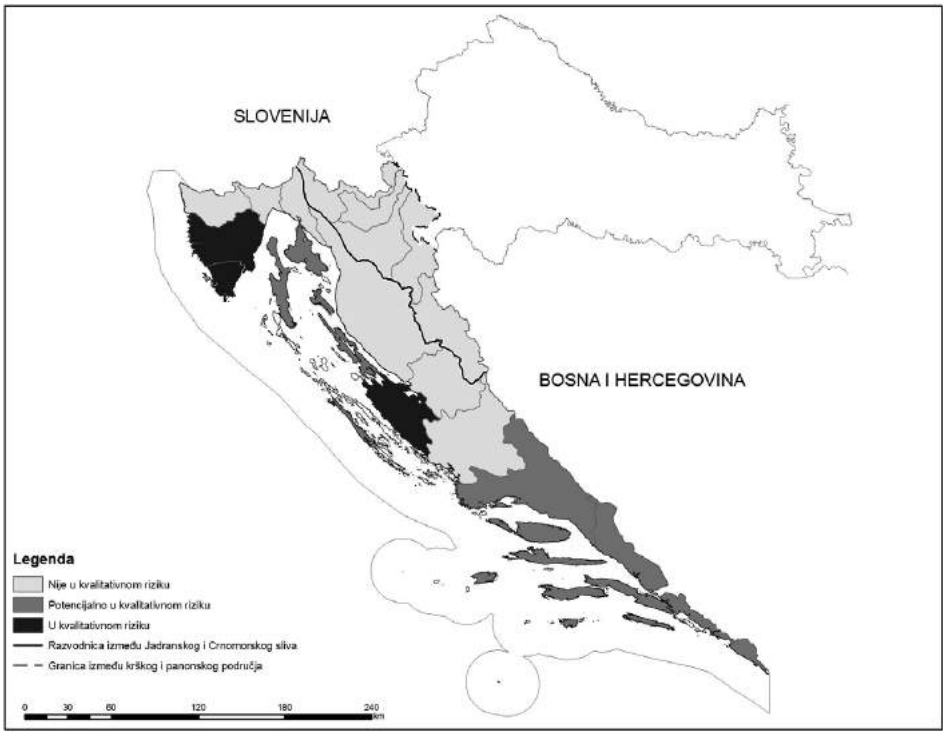
Veliki problem obalnih i otočnih krških vodonosnika u Hrvatskoj je povremeni ili stalni utjecaj mora na slatkovodne sustave. Tijekom prve polovice 20. stoljeća u obalnom području i na otocima su kaptirani brojni izvori, koji su u vrijeme kaptiranja davali zadovoljavajuće količine pitke vode. Međutim, rast stanovništva i razvoj turizma uzrokovali su porast potreba za pitkom vodom i postojeći kaptažni zahvati su sve više eksploatirani. Povećanje eksploatacijskih količina imalo je za posljedicu postupno povećanje saliniteta i brojni kaptažni zahvati su već danas izvan eksploatacije. Posebno su problemi nastali na otocima, tako da samo tri velika otoka danas imaju eksploataciju iz svojih vlastitih resursa, a veliki dio velikih otoka dobiva vodu s kopna. Povećana eksploatacija slatkih voda razlog su trenda povišenja elektrolitičke vodljivosti (CND) u priobalnim i otočkim vodonosnicima.



Slika 2. Kvalitativni status CPV

Analizom kvalitativnog stanja krških podzemnih voda u Republici Hrvatskoj izdvojene su dvije cjeline podzemne vode, koje imaju značajnih problema s kvalitetom vode, u skladu s postavljenim kriterijima ODV Europske Unije. To su cjeline podzemne vode Južna Istra i Ravni kotari (Sl. 2). U cjelini podzemne vode Južna Istra problem su nitrati i

povišenje klorida tijekom ljetnih sušnih razdoblja zbog nekontrolirane eksploatacije vode za potrebe poljoprivrede (Biondić, R. i drugi, 2009, 2010), dok su u cjelini podzemne vode Ravni kotari najveći problem utjecaji mora duboko u kopneno područje, pa kaptirani izvori tijekom ljetnih sušnih razdoblja zaslanjuju. Vodni resursi na jadranskim otocima su također pod utjecajem mora, što ih svrstava u skupinu područja potencijalno lošeg statusa. Samo su tri otoka (Cres, Krk, Vis), koji još koriste vlastite vodne resurse za potrebe vodoopskrbe. Ostali otoci su ili vezani za resurse na kopnu podmorskim cjevovodima ili imaju male uređaje za desalinizaciju boćate vode ili samo cisterne.



Slika 3. Kvalitativni rizik CPV

U sklopu ocjene kvalitativnog stanja cjelina podzemne vode rađena je i procjena rizika temeljena na analizi trendova za pojedine parametre. Granica stanja ‘’u riziku’’ je 75% dozvoljenih referentnih vrijednosti na kraju slijedećeg razdoblja obrade, kraja 2015. godine. Moguće je za tu granicu postaviti i postotak manji od 75% kada se radi o posebnim slučajevima. Jedan od njih je kada su BL i TV vrijednosti gotovo iste ili iste što za područje Hrvatske nije slučaj ili kada je neophodno ranije utjecati na promjenu trendova. Za krško, a i panonsko, područje u Republici Hrvatskoj korištena je vrijednost 75% TV kao granica za kategoriju “u riziku”. Uvažavajući taj kriterij povećava se broj cjelina podzemne vode u odnosu na današnju ocjenu stanja. Sa statusom ‘’u riziku’’ uvrštena je cjelina Središnja Istra, čime se za veliki dio Istarskog poluotoka ukazala potreba znatnog poboljšanja kvalitativnog stanja podzemne vode. U ocjenu rizika uvrštena je činjenica

da veći dio izdvojenih cjelina podzemne vode ima prekogranično prostiranje u susjedne države Sloveniju i Bosnu i Hercegovinu, što zbog neuređenih međudržavnih odnosa u upravljanju vodama svrstava ta područja u potencijalno rizična (Sl. 3).

Procjena kvantitativnog stanja rađena je prema izdvojenim cjelinama podzemne vode. Primijenjene su četiri usporedne analize:

1. Slane (ili druge) intruzije
2. Površinske vode
3. Kopneni ekosustavi ovisni o podzemnim vodama
4. Vodna bilanca

Prema analizi "*Slane (ili druge) intruzije*" da bi neka CPV bila dobrog stanja ne smije biti dugoročnih intruzija slane (ili druge vode lošije kakvoće), a koje su rezultat antropogeno izazvanih promjena razine vode ili potencijala, smanjenja protoka ili promjene smjera zbog zahvaćanja. Analiza "*Površinske vode*" razmatra da li na lokalnom mjerilu pritisak zahvaćanja podzemne vode ima značajan utjecaj na individualno tijelo površinske vode. Analiza "*Kopneni sustavi ovisni o podzemnim vodama*" obrađuje kopnene ekosustave ovisne o podzemnim vodama i zahtijeva da određeni okolišni uvjeti nužni za održavanje životnih zajednica budu zadovoljeni. Analiza "*Vodna bilanca*" uvjetuje da višegodišnje srednje količine crpljenja u CPV ne smiju premašivati višegodišnje srednje godišnje prihranjivanje umanjeno za višegodišnji ekološki prihvatljivi protok.

Za potrebe procjene kvantitativnog statusa i rizika su korišteni podaci za razdoblje od 1961. do 1990. godine sa ukupno 567 postaja. Za prostorno pokrivanje rubnih područja korišteni su podaci s 85 postaja u susjednim državama.

Procjene srednjih godišnjih protoka izrađene su temeljem najčešće upotrebljavanih modela Turca i Langbeina, kao i usporedba s mjerenim hidrološkim podacima na nekoliko testiranih cjelina podzemne vode (Horvat i Rubinić, 2006). Kao mjerodavni usvojeni su rezultati dobiveni analizom slivova prema Langbeinu. Prema okvirnom izračunu bilance za krška područja Hrvatske, krški vodonosnici imaju ukupno oko 590 m^3/s raspoloživih rezervi vode godišnje, te dodatno oko 481 m^3/s godišnje dotoka iz susjednih država, najviše rijekom Neretvom na južnom dijelu Hrvatske.

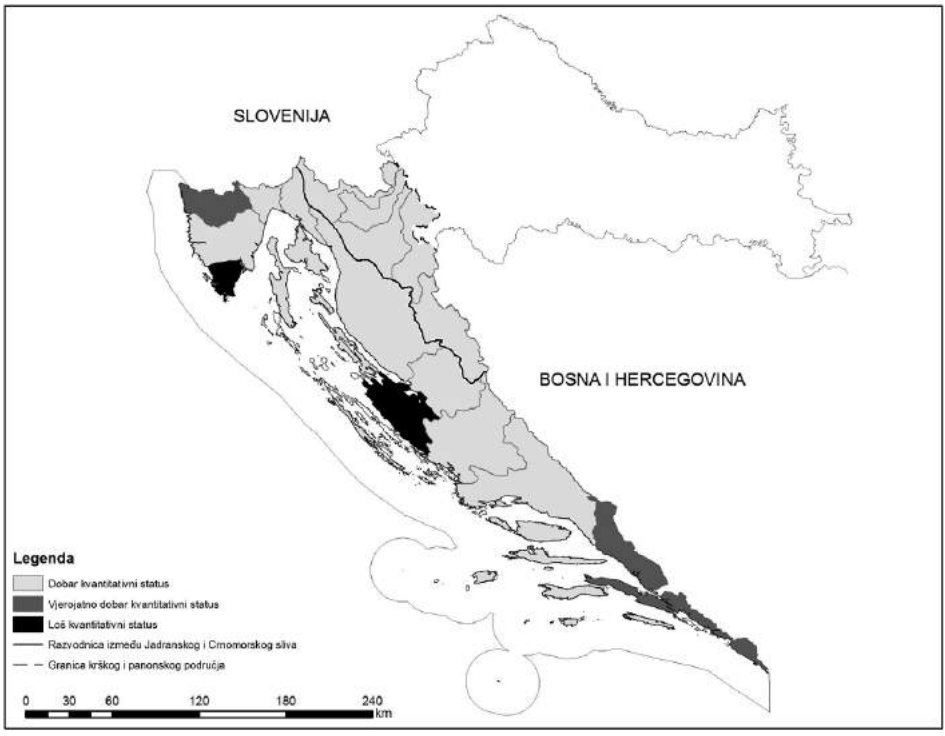
Utjecaj eksploatacije podzemnih voda na krškim izvorima za potrebe vodoopskrbe ima značajnih utjecaja samo tijekom ljetnih sušnih razdoblja, kada su količine crpljenja najveće, a prirodno istjecanje svedeno na minimalne vrijednosti.

Najveći dio vode krških slivova se koristi za proizvodnju električne energije. Izgrađene akumulacije u visokim zonama krških područja zaustavljaju visoke vodne valove, čime se ujedno smanjuju opasnosti od poplava krških polja i dolina, kojima najveće rijeke krških područja otječu u Jadransko more ili prema Crnomorskom slivu. Umjetne akumulacije, osim znatnih šteta zbog promjena prirodnih uvjeta, radi projektiranih gubitaka imaju korisnu funkciju povećavanja protoka krških izvora i vodotoka tijekom ljetnih sušnih razdoblja. Tako za razdoblje od 1961. do 1990. godine procijenjena prosječna količina otjecanja s krškog područja Hrvatske prema Jadranskom moru iznosi oko 420 m^3/s, s dodatkom dotoka od 435 m^3/s s teritorija Bosne i Hercegovine i oko 5 m^3/s s područja Slovenije. Prirodnim putem (izvori, rijeke) u more dotječe oko 210 m^3/s, a ispustima iz hidroenergetskih sustava dodatno oko 200 m^3/s. Čak oko 450 m^3/s (52%) čini hidrološki nemjereno otjecanje podzemnih voda u more. Prema tome, krško područje Dinarida, koje se drenira prema Jad-

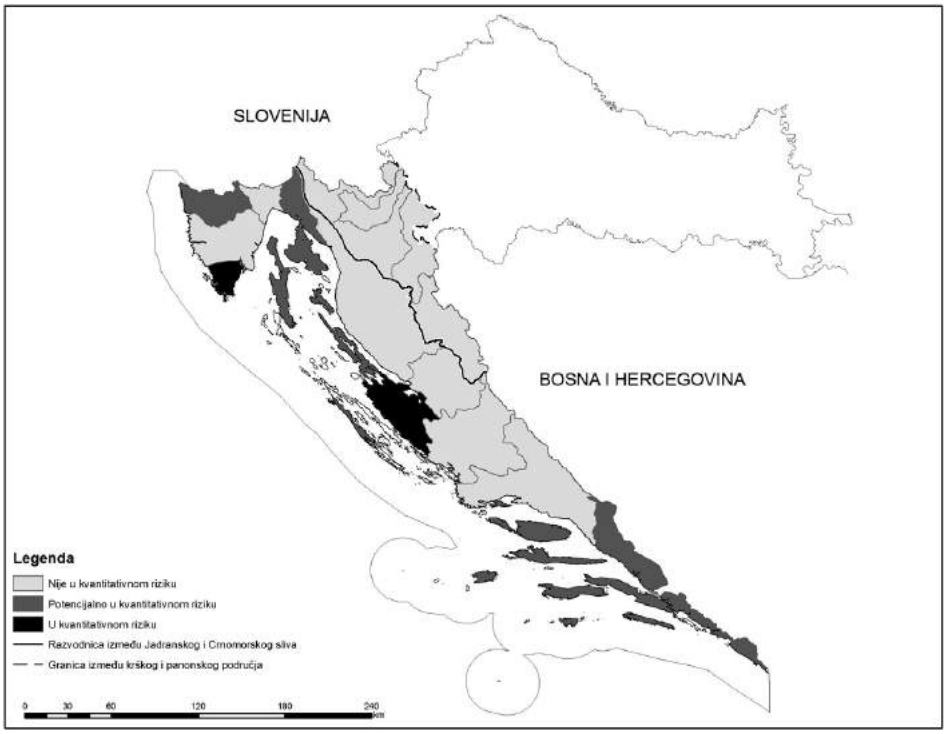
ranskom moru, daje ogromne količine slatke vode, koje danas slobodno otječu u more, a mogu se koristiti u prvom redu na vlastitom teritoriju (za potrebe vodoopskrbe otoka), ali i za eventualnu komercijalizaciju dijela tih rezervi na budućem tržištu vode na Mediteranu.

Utvrđeno je da je za oko 10 % smanjena vodna bilanca vodnih resursa u kršu Hrvatske tijekom analiziranog recentnog razdoblja u odnosu na referentni 30-godišnji prosjek (1961.-90.). Slična je situacija vjerojatno i u susjednim zemljama, čije vode gravitiraju prema Jadranskom i Crnomorskom slivu. Međutim, usprkos toj činjenici, režim voda, uz današnji obim korištenja, još uvijek nije ugrožen do te mjere da izaziva veće probleme u cijelom prostoru. Problema lokalno ima tijekom ljetnih sušnih razdoblja, kada se eksploatacija maksimalizira, a prihranjivanja krških vodonosnika su minimalna. Posebno je to vezano uz održavanje važnih ekosustava duž krških rijeka. Međutim, rezerve vode su obnovljive i već prve jače padaline nakon sušnih razdoblja nadoknađuju sve eventualne deficite vode stvorene dugotrajnim sušama.

Analiza kvantitativnog stanja krških cjelina podzemne vode u Hrvatskoj je pokazala da dvije cjeline imaju status "lošeg statusa" (južna Istra i Ravni Kotari), a dvije cjeline su u "vjerojatno lošem statusu" (sjeverna Istra, Neretva), zbog nedovoljno podataka za ta područja i procjene istraživača. Ocjena kvantitativnog rizika, osim navedenih cjelina s lošim, odnosno vjerojatno lošim stanjem, listu područja rizika proširuje i na cjelinu podzemne vode Rijeka – Bakar i Jadranske otoke zbog utjecaja mora na podzemne vode i povremeno jača zaslanjenja izvorišta pitke vode (Sl. 4).



Slika 4. Kvantitativni status CPV



Slika 5. Kvantitativni rizik CPV

ZAKLJUČAK

Okvirna direktiva o vodama (ODV) je strateški dokument za organizaciju upravljanja i zaštite vodnih resursa u zemljama Europske Unije, s ciljem sprečavanja degradacije vodnih resursa, efikasne zaštite i poboljšanja stanja vodenih ekosustava i uspostave održivog korištenja tog vrlo osjetljivog prirodnog resursa. Procjena stanja i rizika cjelina podzemne vode temeljni je preduvjet za daljnje praćenje vrijednosti vodnih resursa u zemljama EU. Na krškom području Dinarida u Hrvatskoj izdvojeno je 17 cjelina podzemne vode, od čega se 12 drenira prema Jadranskom, a 7 prema Crnom moru. Po cjelinama podzemne vode rađena je analiza pritisaka i utjecaja, analiza kvalitativnog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, analiza ekosustava povezanih s podzemnim vodama i ocjena rizika. Posebna pažnja posvećena je proširenju mreže monitoringa, jer za daljnju karakterizaciju cjelina u riziku ili potencijalnom riziku nema dovoljno relevantnih podataka.

Generalna ocjena kvalitativnog i kvantitativnog stanja cjelina podzemnih voda u krškom području Dinarida u Hrvatskoj je dobra, što potvrđuje da jadransko područje ima visoko kvalitetne vodne resurse u dovoljnim količinama za vlastiti razvoj, ali i za buduću komercijalizaciju na području Mediterana.

Određeni problemi zabilježeni su u dvije CPV, Južna Istra i Ravni kotari, temeljem obrade rezultata kemijskih analiza i količinske analize. Razlog je uglavnom povišena koncentracija nitrata i povremeni prodori mora (povišeni saliniteti u izvorskoj vodi).

Nekoliko cjelina su ocijenjene kategorijom "u potencijalnom riziku": Rijeka – Bakar, Jadranski otoci i Neretva radi povremenih prodora mora, te Cetina i Neretva zbog prekograničnih problema, odnosno nemogućnosti kontroliranja zone prihranjivanja.

LITERATURA

[1] Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J. & Meaški, H. (2009): *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj - Završno izvješće*.– nepublicirano, Arhiv Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.

[2] Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J. & Meaški, H. (2010): *Quality and quantity status and risk assessment of groundwater bodies in karst areas of Croatia*.– In: ZUBER, A., KANIA, J. & KMIECIK, E. (eds.): Groundwater quality sustainability. Extended abstracts. XXXVIII IAH Congress. Krakow, 12.-17.09.2010., 801-808, University of Silesia Press, Krakow, Poland.

[3] Brkić, Ž., Biondić, R., Kapelj, J., Kapelj, S. & Marković, T. (2004): Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU.– nepublicirano, Arhiv Hrvatski geološki institut, Zagreb.

[4] Brkić, Ž., Biondić, R., Pavičić, A., Slišković, I., Marković, T., Terzić, J., Dukarić, F. & Dolić, M. (2006): Određivanje cjelina podzemnih voda na Jadranskom slivu prema kriterijima Okvirne direktive o vodama EU.– nepublicirano, Arhiv Hrvatski geološki institut, Zagreb.

[5] COST 620 (2004): *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. EUR 20912 EN, Final report.– Directorate-General Science, Research and Development, Brussels, Belgium.

[6] Water Framework Directives (WFD) 2000/60/EC (2000): *Water Framework Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy*.

[7] Horvat, B. i Rubinić, J. (2006): *Annual runoff estimate – an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia*.– Hydrological Sciences Journal. 51/2; 314-324.

AUTORI

doc.dr.sc. Ranko Biondić[a]
prof.dr.sc. Božidar Biondić[a]
mr.sc. Josip Rubinić[b]
dr.sc. Hrvoje Meaški[a]

[a] Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42.000 Varaždin, Hrvatska, *rbiondic@gfv.hr*

[b] Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, V.C. Emina 5, 51.000 Rijeka, Hrvatska, *jrubinic@gradri.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.45.

GROUNDWATER MANAGEMENT HARMONIZED WITH EU WATER FRAMEWORK DIRECTIVE AND WHO WATER SAFETY PLAN IN CASE STUDY FOR PART OF NORTHEAST OF SLOVENIA

Irena Kopač

SUMMARY: In Slovenia groundwater is primary water resource for water supply and we have obligation for national water management plan and we are preparing legislation for Water Safety Plans (WHO). Part of these activities is case study of measurements for diminishing pollution of potable water with chemical contaminants in Maribor's water supply system. This was four year project (2007 - 2010) and was practically dealing with concepts for sustainable use and groundwater protecting. Municipality Maribor implemented for nine years additional imission monitoring for groundwater resources. In years 2006 - 2008 research lysimeter station Tezno was build and activated with new technologies of agro-lysimeter, where evapotranspiration is determined by weight measurement. Supported by this data about soil and unsaturated zone, project attention was as well in additional tools for getting representative data for groundwater management, to get a base for substantial climate prognosis and to get optimized agriculture yield considering groundwater protection. Semi-coupled modeling with STOTRASIM (1D, unsaturated zone) - MODFLOW (3D, transient groundwater flow) - MT3DMS (3D, propagation of nitrate in groundwater) gives us some important results for further activities in groundwater management. Part of the project was as well approach to the risk with all three main elements - risk assessment, risk management and risk communication.

KEYWORDS: Groundwater management, Groundwater risk, Monitoring, Modeling

UPRAVLJANJE PODZEMNIM VODAMA USKLAĐENO S OKVIRNOM DIREKTIVOM O VODAMA EU I PLANOM ZA SIGURNOST VODE (WHO) U STUDIJI SLUČAJA ZA DIO SJEVEROISTOČNE SLOVENIJE

SAŽETAK: U Sloveniji, podzemne su vode primarni vodni resurs za vodoopskrbu. Imamo obvezu izraditi nacionalni plana upravljanja vodama, a pripremamo i zakonodavstvo za planove za sigurnost vode (WHO). Dio ovih aktivnosti u studiji slučaja mjerenja za smanjenje onečišćenja pitke vode kemijskim onečišćivačima u sustavu vodoopskrbe Mari-

bora. Ovo je bio 4-godišnji projekt (2007. - 2010.) koji se praktično bavio konceptima održive upotrebe i zaštite podzemnih voda. Općina Maribor 9 godina je provodila dodatno praćenje imisije za resurse podzemnih voda. U razdoblju 2006. - 2008. izgrađena je i stavljena u funkciju istraživačka lizimetarska stanica Tezno s novim tehnologijama agrolizimetara, pri čemu se evapotranspiracija utvrđuje mjerenjem težine. Uz pomoć ovih podataka o tlu i nezasićenoj zoni, fokus projekta bili su također i dodatni alati za dobivanje reprezentativnih podataka o upravljanju podzemnim vodama, stvaranju osnove za solidne klimatske prognoze i postizanje optimiziranog poljoprivrednog prinosa uzimajući u obzir zaštitu podzemnih voda. Polupovezano modeliranje - STOTRASIM (1D, nezasićena zona) - MODFLOW (3D, privremeni tok podzemne vode) - MT3DMS (3D, širenje nitrata u podzemnim vodama) daje nam važne rezultate za daljnje aktivnosti upravljanja podzemnim vodama. Dio projekta bio je također pristup rizicima uz sva 3 glavna elementa - procjenu rizika, upravljanje rizicima i komunikaciju o rizicima.

KLJUČNE RIJEČI: Upravljanje podzemnim vodama, Rizici podzemnih voda, Praćenje, Modeliranje

1. INTRODUCTION

Groundwater is in Slovenia primary water resource and we need to consider future sustainability of our aquifers. The concept of sustainable development was introduced by the Brundtland Commission: "Humanity has the ability to make development sustainable - to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs," (WCED, 1987, citied from Loucks and Gladwell, 1999). The International Hydrological Programme (IHP) developed slightly modified definition for management of water resource systems: "Sustainable water resource systems are designed and controlled to profit the objectives of the community, now and in the future, while maintaining their ecological and hydrological integrity." (Loucks and Gladwell, 1999). This is based on two foundations, that the renewable resource should not be degraded and that the entire community is involved to maintain the sustainability of water resource systems so that decisions have a broad consensus (Fank and Draxler, 2011).

On national level we have now two activities:

- on the one side we have obligation for national water management plan, based on a Common Implementation Strategy (CIS, 2007) for the EU Water Framework Directive (WFD), which activities is lead by Ministry of the Environment and Spatial planning;
- on the other side Ministry of Health begin with activities to define legislative obligation for Water Safety Plans (WSP) as obligation for local communities and public utilities; WSP was suggested by WHO and deals with managing drinking water quality from catchment to consumer.

We are aware that sustainable solutions are supported by high quality of data and that these are depended on availability of time, money and technical expertise. Therefore special attention was given to availability of data. On national level we have some data from national monitoring's, but these are not enough or are too general for real quality support

for both mentioned national activities. On the other side Municipality Maribor, connected with some other near municipalities, which all get water from Maribor water supply system, has been implementing already for ten years (from year 2001) his own imission monitoring for groundwater resources, which includes:

- groundwater monitoring with 44 piezometers and all water wells of "Mariborski vodovod" (Maribor water supply company);
- some key points monitoring on surface waters: streams Hočki, Polanski, Radvanjski potok, Lobnica and the river Drava;
- soil monitoring with one permanent place - research lysimeter station Tezno and soil sampling on each year of the programme.

This imission monitoring was reason to increase this work with four year project (2007-2010) on case study of measurements for diminishing pollution of potable water with chemical contaminants in Maribor's water supply system.

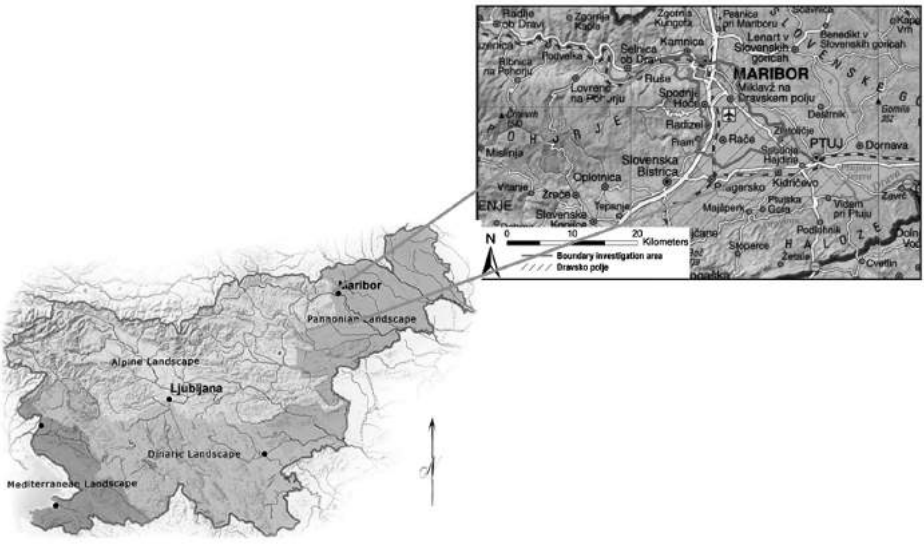


Figure 1. Investigated area

This project had three main interconnected objectives:

- to present "drivers scenarios" considering concept of DPSIR (drivers-pressures-state-impacts-response) of the European Environment Agency and hazards (Beuken, 2006) on case study area of Dravsko polje (Figure 3) and impact on groundwater, surface water and soil, with hydrological and chemical state of water and assessment of water supply safety;
- to give proposal for priorities for groundwater management in our region for diminishing of key pressures and effective monitoring programme, including socio-economic analysis and
- to present tools for representative data base about hydrological and chemical state of groundwater and for risk assessment, risk management and risk communication.

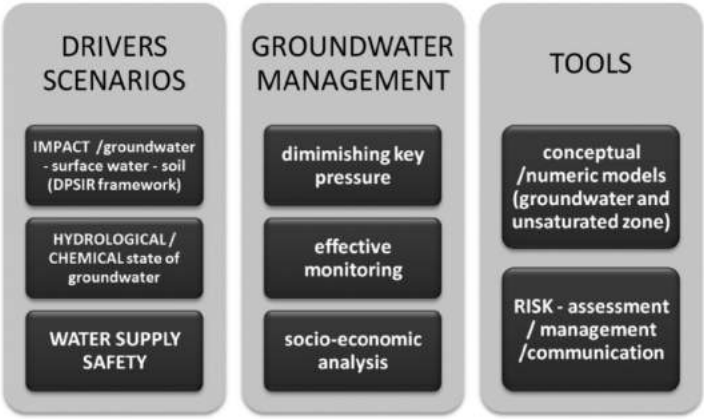


Figure 2. Range of case study projec

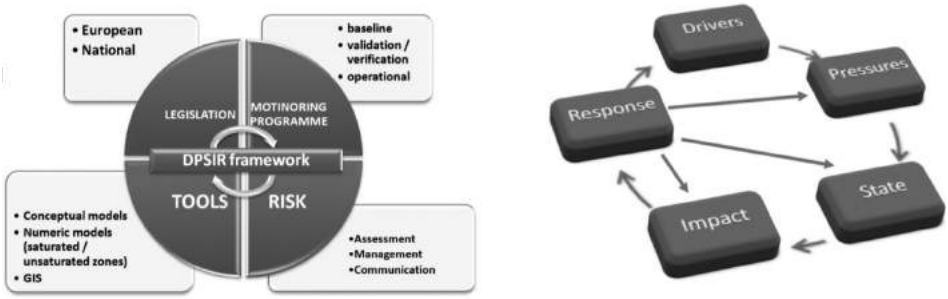


Figure 3. Concept for sustainable use and groundwater protecting

2. RESEARCH LYSIMETER STATION TEZNO

On investigated area we have good network of piezometers for groundwater observation. But on the other side we lacked accurate information about the soil water balance. This was the reason to build up research lysimeter station Tezno. A lysimeter is a device that isolates a volume of soil or earth between the soil surface and a given depth and includes a percolation water sampling systems at its base (Fank and Draxler, 2011). The DIN 4049-3 (1994) define the lysimeter as a device to collect seepage water for mass and solute balances in relation to soil, parent rock, vegetation, local climate and other site conditions.

Because of some other parallel project we had opportunity to build a new generations of weighable Agro-Lysimeter in cooperation with UMS GmbH Munich, the leading producer in Europe for this kind of lysimeters, and Joanneum Reasearch Graz, which Department for Water, Energy and Sustainability had more than 15 years of experience in lysimeters technic in Wagna (Styria, Austria), near to our border, cca 40 km from Maribor.

Agro-Lysimeter visualizes the availability of water and fertilizer, and measures precipitation, evapotranspiration and leachate. Measurements are all field-identical designed for sustainable agriculture and long-term groundwater protection. The upper ring section of the lysimeter cylinder can be lifted off for tillage, so conventional tillage operations with

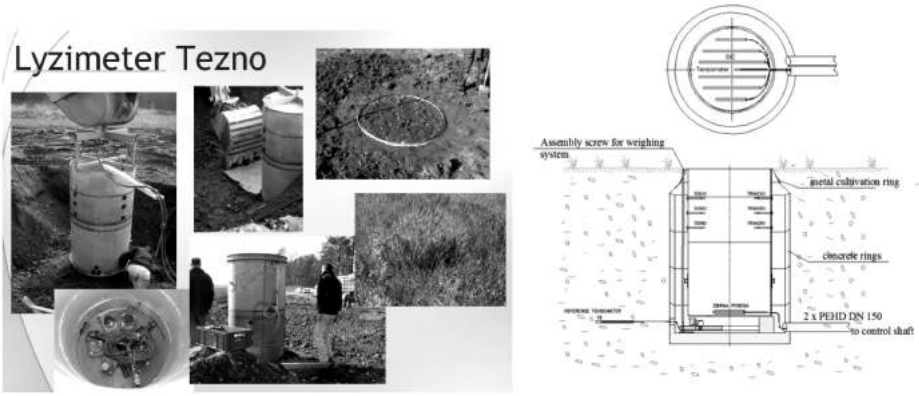


Figure 4. Research lysimeter in Maribor - Tezno

agriculture machinery are possible on the lysimeter soil as well. Mass change is measured with an accuracy of 100 grams (0,1 mm precipitation) and a resolution of 10 grams (0,01 mm). Leachate is measured with an accuracy of 10 grams and a resolution of 1 gram.

3. CLIMATE WATER BILANCE ON NORTHERN DRAVSKO POLJE

Dravsko polje is a Quaternary plain in the south-east of Maribor and contains one of the largest alluvial aquifers in Slovenia. It is intensively used for agriculture and water supply (together with aquifers of Vrbanski plato, Ruše and Selniška dobrava) for approximately 180.000 inhabitants in north-eastern Slovenia. Water balance for this aquifer was never precisely enough estimated. Water balance for this aquifer has two main components - direct groundwater recharge from precipitation and hinterland sinking of Pohorje streams.

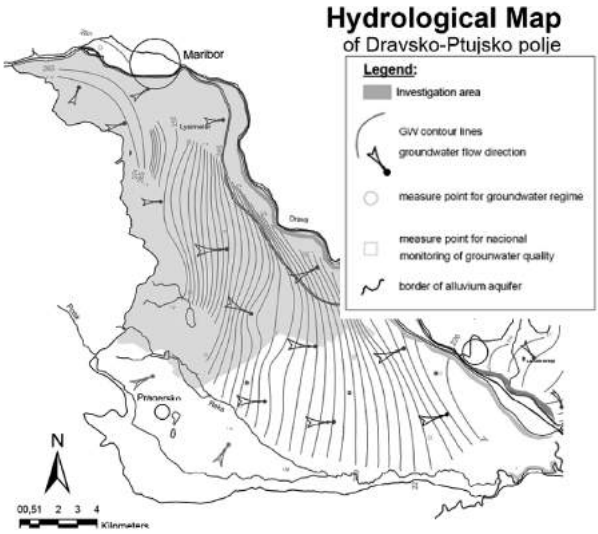


Figure 5. Hydrological map of Dravsko polje (source: ARSO - Environment Agency of the Republic of Slovenia) and investigated area

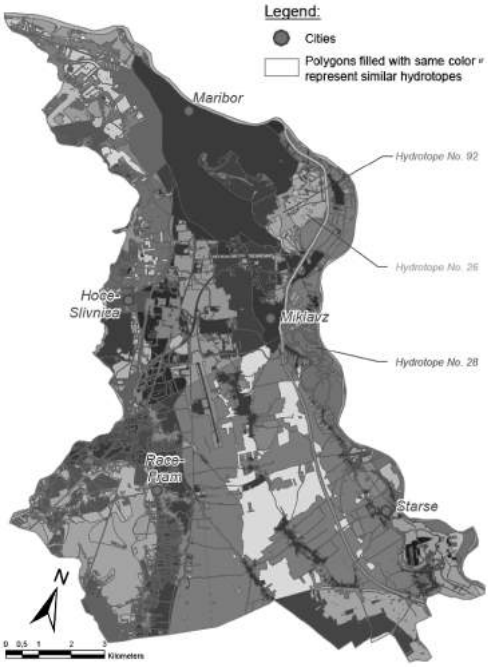


Figure 6. Spatial distribution of the hydrotopes in northern Dravsko polje (Klammler, 2008)

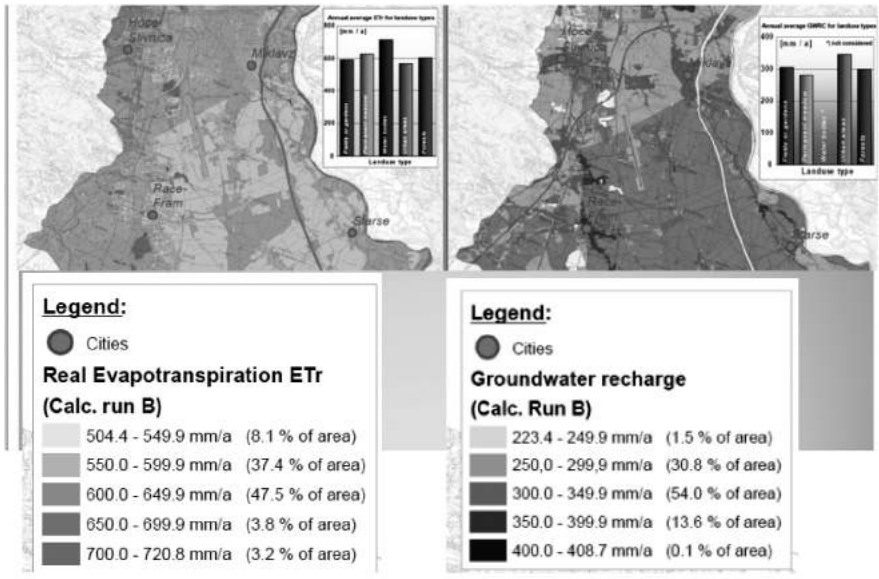


Figure 7. Annual average ET and groundwater recharge from the period 2003 - 2007 (Klammler, 2008)

In this project we didn't have a possibility for more accurate estimate for the part of Pohorje streams, but we systematic estimated part of groundwater recharge with precipitation for 5 year period (2003. - 2007.). This was important for us as well for estimating agriculture activities in unsaturated soil profiles.

The calculation of the groundwater recharge was based on the solution of the climatic water balance for several hydrotopes, which are zones in the investigations area with homogeneous characteristics of climate, soil and land use. The investigation area of 144 km^2 was divided in 139 hydrotopes. Groundwater recharge was calculated with FAO-Penman-Monteith method. Fank (2008) compares calculated grass-reference evapotranspiration ET_0 after the FAO-Penman-Monteith, Priestley-Taylor and Blaney-Criddle methods with results from lysimeter station in Wagna (Styria, Austria) and achieves the most suitable results with FAO-Penman-Monteith method and recommended this method as a standard.

We get climate data from three meteorological stations - Maribor-Tabor, Maribor-Airport and Starše. Based on this data we divided the whole area in northern and southern part. With this division and with overview of the land use, agriculture activities and soil types we get mentioned hydrotopes. The final result was the map of real evapotranspiration and groundwater recharge distribution.

4. SEMI-COUPLED MODELING OF UNSATURATED AND SATURATED ZONES - EXAMPLE OF DISPERSED AGRICULTURE PRE/SSURES WITH NITRATE

From the immission monitoring we have information that nitrate is one of the main problems in this region. On other side our government adopt legislation with only organic farming in the first water protection zone (VVO I - 50 day groundwater flow to water wells). Beside good agriculture praxis there is not extra consideration about agriculture praxis in second water protection zone (VVO II - aquifer with enough time for dilution and to take measures). So we investigated if this decision gives us right groundwater management. Semi-coupled modelling with STOTRASIM (1D propagation of nitrate in unsaturated zones), MODFLOW (3D transient groundwater flow) and MT3DMS (3D propagation of nitrate in groundwater) was used.

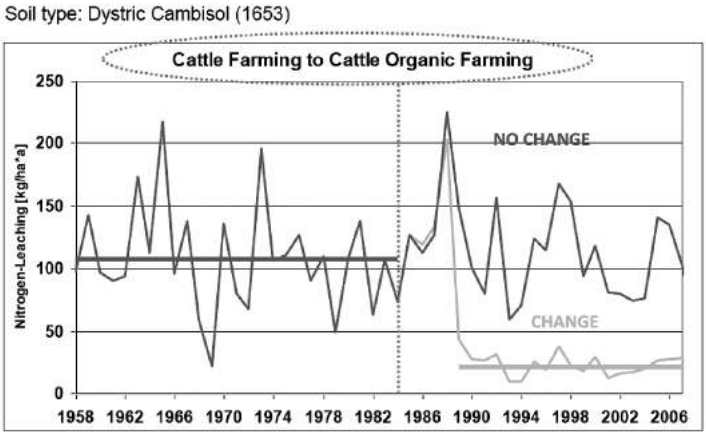


Figure 8. Nitrate concentration on groundwater level in case of conventional cattle farming and change to cattle organic farming (Fank and Draxler, 2009)

First, separated software package STOTRASIM for unsaturated zones was modelled on different location inside VVO I and VVO II, divided on each soil type and for three different, but real for this region, scenarios of agriculture praxis. Next step was to see how this different pressure of nitrate is propagating in both water protection zones in groundwater to water wells. The results of modelling unsaturated zones are than manually transferred in the MODFLOW and MT3DMS, which are in the same software package (VisualMODFLOW 4.2). The key result from modelling unsaturated zone was that if we alter from conventional farming to organic, it will take some time to see results in groundwater quality. In our conditions cca 5 years.

From modelling groundwater flow and nitrate propagation for ten year period (1998. - 2007.) it was clear, that the agriculture pressures from VVO I give us only cca 14 mg/l additional nitrate in groundwater and water wells. But if we consider as well the pressures from VVO II, we see that we can receive cca 50 mg/l additional nitrate in groundwater and water wells (Kopač, 2010). This was warning sign for our government that some changes must be taken in the legislation, if we want to achieve good status of groundwater body and reach win-win situation as well with the agriculture praxis in this region.

For building good models we need good precise data for long period of time. In our case the modelling of unsaturated zone was done for the period from 1953 to 2007 and groundwater flow and transport from 1998 to 2007. This requires a lot of work, but these models can provide a relevant and useful scientific tool for predicting impacts and developing management plans, e.g. water safety plans. With models we have opportunity to look at and try alternative management plans. The ability of providing detailed data enables more accurate representations with models and is depended on time, money and technical expertise.

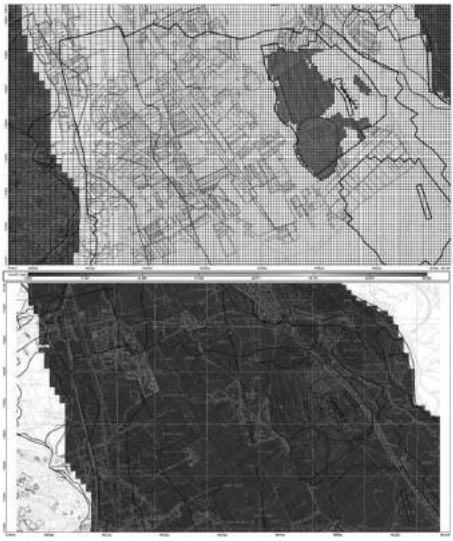


Figure 9. Example of nitrate pressure in VVO I Dobrovce - results of additional nitrate in 7th modeling year

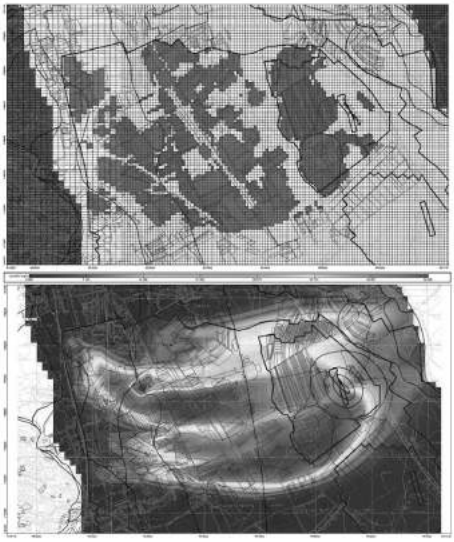


Figure 10. Example of nitrate pressure in VVO I and VVO II Dobrovce - results of additional nitrate in 7th modeling year

CONCLUSION

The Water Framework Directive (WFD) with obligation for development of river basin management and WHO Water Safety Plan (WSP) with expected changes in the Drinking Water Directive (98/83/EC) meet together on part of groundwater and groundwater catchment zone within water protection zones. The aim is the same - achieving "good status" of groundwater bodies. But the both activities run on two different ways, with two different leading Ministries (for environment and for health). The request is:

- that they harmonize their work,
- that they use the same data and the results from the same tools,
- that they involve the same stakeholders and
- that obligation goes to the same institutions or stakeholders.

Case study of measurements for diminishing pollution of potable water with chemical contaminants in Maribor's water supply system was first attempt to harmonize this work and to give in four-year project some representative data and tools, which are necessary for effective groundwater management in this area.

REFERENCES

[1] Beuken, R. and all (2006): *Identification and description of hazards for water supply systems*, preliminary version, TECHNEAU 2006.

[2] Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy (WFD, 23.10.2000).

[3] Fank, J.; Draxler, J.C. (2009): *Final report for the year 2008 - Case study of measurements for diminishing pollution of potable water with chemical contaminants in Maribor's water supply system*, Joanneum Research Graz, February 2009.

[4] Fank, J.; Draxler, J.C. (2011): *Final report for the year 2010 - Case study of measurements for diminishing pollution of potable water with chemical contaminants in Maribor's water supply system*, Joanneum Research Graz, February 2011.

[5] Fank, J., 2008: *Comparison of calculated ET_0 to measured Lysimeter grass ET*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-12046, 2008 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-12046 EGU General Assembly.

[6] Klammler, G. (2008): *Climatic water balance of northern Dravsko polje - spatial distribution recharge of the groundwater recharge from 2003 to 2007*, Institute of Geography and Regional Science, University of Graz, Austria, September 2008.

[7] Kopač, I. (2010): *Final report for the year 2009 - Case study of measurements for diminishing pollution of potable water with chemical contaminants in Maribor's water supply system*, IEI – Institut for Ecological Engineering, February 2010

[8] Loucks, P.D.; Gladwell, J.S. (1999): *Sustainability Criteria for Water Resource Systems*, International Hydrology Series, UNESCO.

[9] WFD CIS Guidance Document No. 15 (2007) - *Monitoring Guidance for Groundwater*, Technical Report - 002 - 2007, European Communities.

[10] WFD CIS Guidance Document No. 16 (2007) - *Guidance on Groundwater in Drinking Water Protected Areas* - 010 - 2007, European Communities.

[11] WFD CIS Guidance Document No. 17 (2007) - *Prevention or limitation of direct and indirect inputs in groundwater*, Technical Report - 012 - 2007, European Communities.

AUTOR

Irena Kopač, B.Sc. [a]

[a] IEI - Institut za ekološki inženiring d.o.o.: Ljubljanska ul. 9, Maribor, SI-2000, Slovenia, irena.kopac@iei.si

R 1.46.

INTERNAL DRIVING FORCES ON GROUNDWATER CHEMISTRY IN TIMIS PLAIN, ROMANIA

Petru Enciu, Cristina Dumitrica

SUMMARY: This paper presents preliminary results of the "Climate Change and Impact on Water Supply" project, a SEE project supported by the European Regional Development Fund and the Instrument for Pre-Accession Assistance, having like test area the Timis Plain. Timis Plain occupies a low (60-120 m elevation) and marshy area. Its topography is controlled by neotectonic activity, been characterized by a subsidence rate of -1.0 to -2.5 mm/year.

Both the phreatic and the confined aquifers exceed the standard demand for the organic substances, iron, manganese, arsenic a. o., due to the anoxic environment of deposition and due to their easy solving (on the background of higher thermal gradient).

Main hazard for agriculture is the enrichment in sodium of the actual soil. If the climate conditions will change, the huge function as vaporizer of the Pannonian Depression' basement will be accentuated, having high impact upon the water chemistry and inclusively, for people safety.

KEYWORDS: Romania, Timis Plain, groundwater, thermal heat, arsenic, geomedicine

INTERNE SILE KOJE UTJEČU NA KEMIJU PODZEMNIH VODA U DOLINI TAMIŠA U RUMUNJSKOJ

SAŽETAK: Ovaj rad predstavlja preliminarne rezultate projekta "Klimatske promjene i njihov utjecaj na vodoopskrbu", projekta u jugoistočnoj Europi koji se financira iz Europskog fonda za regionalni razvoj i Instrumenata pretpristupne pomoći (IPA) na pilot području u dolini Tamiša. Dolina Tamša nalazi se na nadmorskoj visini od 60-120 m, u močvarnom području. Njenu topografiju kontrolira neotektonska aktivnost, za koju je karakteristično slijeganje tla od 1.0 to - 2.5 mm/god.

I freatski i zatvoreni vodonosnici premašuju standardnu potrebu za organskim tvarima, željezo, mangan, arsen i dr. zbog anoksičnog okoliša taloženja i velike topljivosti (viši termalni gradijent).

Najveću opasnost za poljoprivredu predstavlja obogaćenje tla natrijem. Ako nastupe klimatske promjene, biti će intenzivirana funkcija vlaženja panonske depresije, s velikim utjecajem na kemiju vode i sigurnost ljudi.

KLJUČNE RIJEČI: Rumunjska, dolina Tamiša, podzemne vode, termalna energija, arsen, geomedicina

1. INTRODUCTION

Our paper deals with the influence of the geological components upon the hydrochemistry of groundwater bodies located in the first 300 m depth in the Timis Plain, one physical subunit of the Middle Danube Basin.

From the geological point of view, Timis Plain (ca 600 km^2) occupies the south-eastern rim of the Pannonian Depression (extended between Dinaric and Carpathian tectonic belts), one well-known unit due to its high geothermal gradient and to the existence of hydrothermal systems with temperatures of 60-120°C.

Our study was done in the framework of the "Climate Change and Impact on Water Supply" project, acronym "CC-WaterS", supported by the European Regional Development Fund and the Instrument for Pre-Accession Assistance. The main activities of this project, involving nine countries from Central and South East Europe (from Croatia in NW till Greece in SE), are to anticipate the future climate and land use changes, and to assess their impacts on water resources. For the adequate solving of the future of the human communities, ecosystems and water resources, both the Climate Changes and the Geological Components are necessary to be enlightened.

2. GEOGRAPHIC DATA

The main neighbouring subunits of the studied subunit are two piedmont-like plains dipping from E to W (220- 90 m), Barzava in S and Vinga in N, respectively. Between these, the Timis Plain occupies one low (120-60 m high) and marshy area. The present surface features of the Timis Plain reflect accurately the recent history of the basement.

At the background level, the Timis Plain corresponds to one subsiding panel (-1.0 to -2.5 mm/year) of the buried Carpathian Arch. As the result of this continuous subsiding movement, main rivers of studied area, Bega and Timis, have two-three sequences of terrace alluvium buried progressively at tens of meters deep. The surface of the Bega-Timis Inter-stream has a flat relief with frequent E-W elongated micro-depressions (remains of the old channels) and inter-channel bogs. The gentle dipping slope of the Timis Plain from E to W favours the seasonal uprising at surface of the water table, the development of the hydrophilic vegetation and the salts concentration in soil. The main phenomenon during great floods of the Carpathian rivers is the sediment's aggradations and similar peat-forming micro-environments.

3. CLIMATE CHARACTERISTIC

The spatial temperature long term averages over the 1961-2007 (Busuioc; 2010; Final Report: in "CC-WaterS") is 10.7°C for annual mean, 0.1°C for winter and 20.7°C for summer. On annual scale, a significant (5% statistical level) increase over Banat Plain (ranging between 0.8°C and 1.0°C) has been noted. One significant increase was found for summer, ranging between 1.6°C and 1.8°C.

For same annual scale, the precipitation amounts ca 580 mm. The lower seasonal value is

116 mm for winter and higher ca 193 mm for the summer. Differences between the sign of climate change signal between seasons can be sustained. A decrease of precipitation during winter (50 mm to 25 mm) and the increase for autumn (10% level) respectively at Timisoara station were found. Three Regional Climate Models were used as input in order to estimate the possible changes in the monthly mean temperatures and precipitation at 4 stations in Banat Plain for 2021-2050 and 2071-2100 periods (Busuioc, 2010). On annual scale, for temperature, is expected a warming between 1.3°C and 2.6°C. For precipitation, the increasing expected in some months is balanced by decreasing expected in other months.

4. ABOUT GEOLOGICAL EVOLUTION

After Late Cretaceous-Miocene time of the wandering to N, NE and E of the Tisza-Dacia Block against the East European Craton, the Pannonian Depression was born behind of Carpathian Arch, having very thin lithosphere (< 60 km). The studied area falls in south-eastern part of the Pannonian Basin characterized by the high frequency of the in-crust earthquakes and magmatic activity. The last eruption took place at 1.3 Ma BP, Lower Pleistocene (Seghedi et al., 2008). As a result, around the Gataia locality (20 km south of Timisoara City) one body of ultrabazic lava up-rise from over 100 km (lower mantle) depth along one trans-crustal fault.

The flat-lying Miocene-Quaternary sedimentary Infill (about 3 km thick) of Pannonian Basin overlies the older crystalline basement and Cretaceous sediments. The main feature of the Quaternary pile (up to 600 m in thickness) is its high variability in grain-size and petrography from the source area (Carpathians in E) to the distal portions of Pannonian Basin (present Serbia' territory in W). Within the low area of the Timis Plain, the massive pebbly-sandy deposit of the Bega and Timis Rivers (Holocene in age) pinch out towards west and is interlayered with fine sands and subsequently in the proximity of the politic boundary, with silty-clayey sands.

5. GEOTHERMAL SETTINGS

Having one thinner lithosphere, the Pannonian Depression suffered the one general doming of the mantle. As result, the thermal heat flow is 85-100 mW/m², twice comparing with 50 mW/m² common values. Mean temperature of water for 1600-1900 m tested interval in boreholes is 86-111°C. Discharge rate of wells is 8-14 l/s at the 50 m drawdown, having 80-85°C water well head temperature.

At 300 m depth, the temperature is about 30°C (Gheorghe & Craciun, 1993). Generally speaking, the scientists sustain that the basement of the Timis Plain seams like one great vaporizer (Ianos, 2004), like one huge pushing set of heat waters with real impact of salts concentration in the phreatic aquifer and soils (Figure 1).

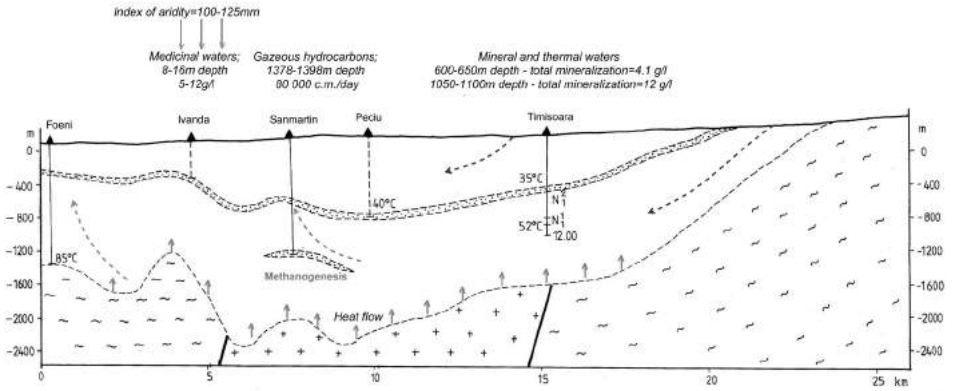


Figure 1. A conceptual model of the Timis Plain water mineralization

6. HYDROCHEMISTRY OF THE WATER TABLE AQUIFER

The main feature of phreatic water body hosted in Timis Plain is radial-converging flow centred on the subsiding area (Figure 2). On over half of Timis Plain surface, the water table is near the soil (≤ 3 m), has low gradient of flow (≤ 0.01 ‰) and high mineralization (till 13 g/l).

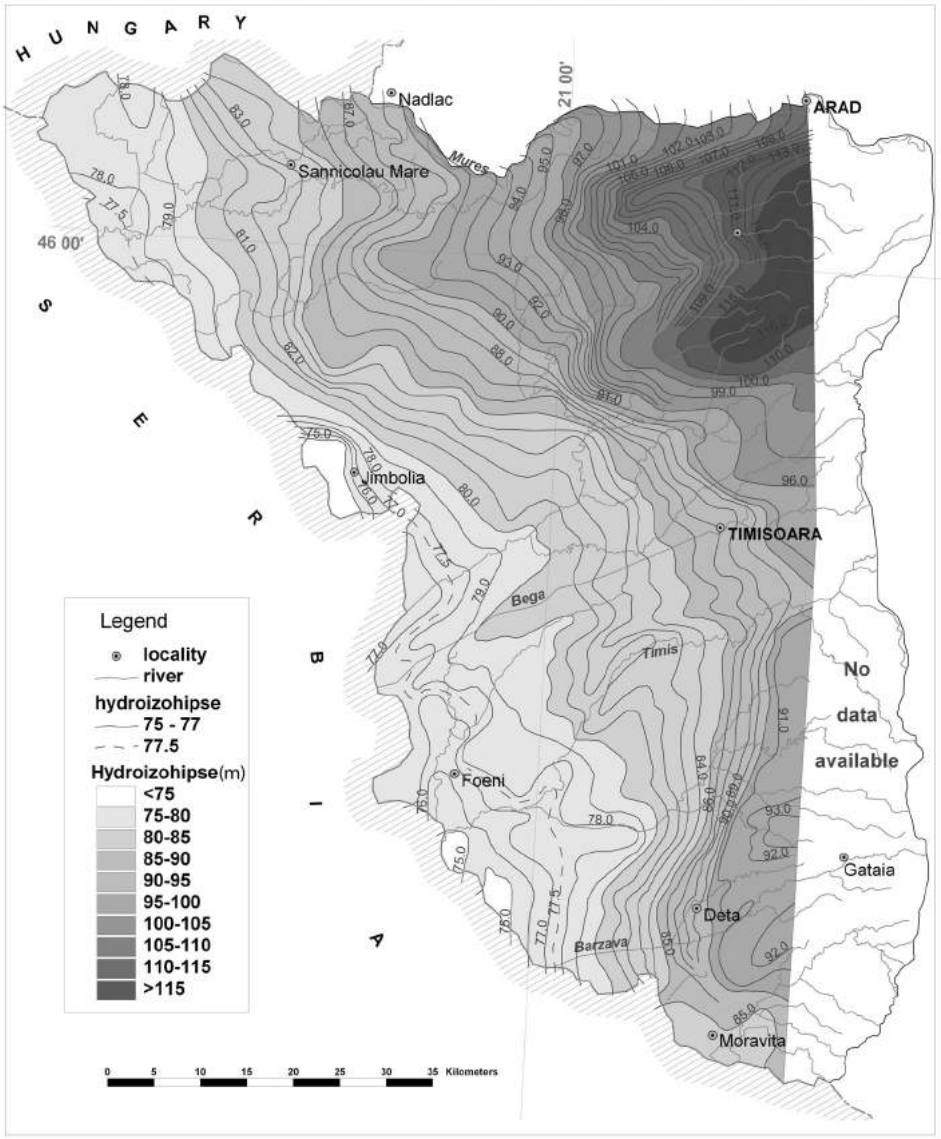


Figure 2. Hydrogeological map of Banat Plain

Its total mineralization increases from east to west in the direction of the groundwater flow, from < 0.5 g/l and > 13.0 g/l (Figure 3).

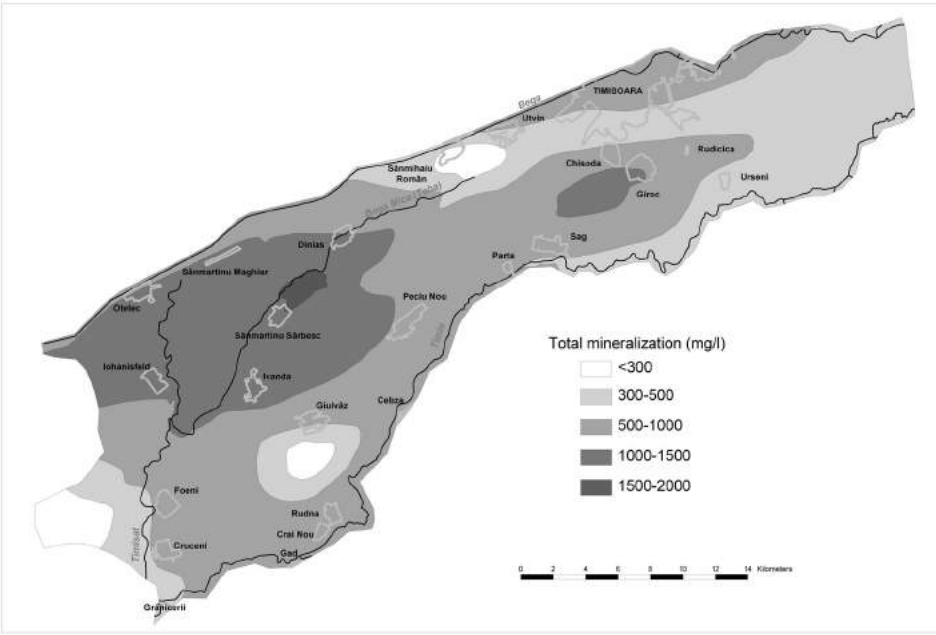


Figure 3. Map of total mineralization for Timis Plain

In the east, the chemistry of water is dominated by C Mg type. In the western half of the Timiş Plain, between the villages of Sânmartinu Sârbesc-Giulvăz and Peciu Nou there are waters of CCl MgCa, CIC MgNa or SCl Na Mg types. Within Ivanda Locality, the water table aquifer has medicinal water (with Glauber salt). It is the supposition that some salts come from depth by the upward discharge and suffer the concentration due to the summer climatic conditions.

There is a clear-cut difference between inside and outside water resources (Table 1). In first category the nitrates content is 103-331 mg/l, averaging 190.3 mg/l (standard value < 50 mg/l). Phosphates amount to 0.3 – 0.4 mg/l, average value 0.35 mg/l (standard value < 0.1 mg/l). Samples collected from wells situated outside the settlements show values higher than drinking water standards in the case of organic substances (5.2-7.3 mg/l), iron, manganese (4.5-1890 mg/l), arsenic (24-25.5 mg/l) and phosphates (0.0-2.1 mg/l, averaging 0.4 mg/l).

Aquifer	Unit	Phreatic aquifer (public fountains)		Phreatic aquifer (out of localities)		Confined aquifer (sampled in 2010)		Confined aquifer (sampled before 2010)		Standard Demand
pH		7,2 - 8,4	7,5	7 - 8,2	7,5	7,4 - 8,1	7,7	6,8 - 8,1	7,3	**7,5 – 8,5**
Electric conductivity	$mScm^{-1}$	935 - **5296**	2345	400 - 2243	1028	582 - 975	805	*	*	**<2500**
Residue sec	mg/l	*	*	*	*	*	*	311 - 861	585	**-**
NO_3^-	mg/l	**103 - 331**	**190,3**	0 - **58,2**	11,1	0,06 - 0,70	0,21	0 - 34,2	6,1	**<50**
NO_2^-	mg/l	0	0	0	0	0 - 0,15	0,03	0 - 0,04	0,01	**<0,5**
PO_4^{3-}	mg/l	**0,3 - 3,3**	**1,3**	0 - **2,1**	**0,4**	0 **- 8,5**	**2,2**	0 - **1,4**	**0,5**	**< 0,1**
HCO_3^-	mg/l	*	*	*	*	*	*	213 - 445	336	**-**
Cl^-	mg/l	62 - 225	121,6	5 - 115	31,7	5-38	18,6	8 - **517**	112,7	**<250**
SO_4^{2-}	mg/l	105 - **296**	178	1,4 - 170	70,5	0 - 80	18,3	0 - 29,3	8,2	**<250**
Total hardness	0°G	*	*	*	*	*	*	3,4 **- 32,1**	10,7	**5 - 20**
CCO-Mn	mg/l	1,3 - 3,8	2,3	0,5 **- 7,3**	2,8	0,0 - 3,3	2,1	27 - **39,8**	**15,3**	**<5**
NH_4^+	mg/l	0	0	0 - **1,7**	0,2	0 - **1,1**	**0,6**	0 **- 0,8**	**0,5**	**<0,5**
Ca^{2+}	mg/l	*	*	*	*	*		15 - 121	42	**<400**
Mg^{2+}	mg/l	*	*	*	*	*		5,7 - 64,9	20,1	**<250**
Na^+	mg/l	*	*	*	*	*		36 - 148	107	**<200**
K^+	mg/l	*	*	*	*	*		0 - 2	1,2	**-**
Fe	µg/l	*	*	*	*	18 - **2450**	**510**	50 **-490**	**220**	**<200**
Mn^{2+}	µg/l	6,0 - **86,5**	35	4,5 - **1890**	**317,5**	31 - **1280**	**654**	30 - **350**	**221**	**<50**
As	µg/l	0 - 7,2	2,4	0 - **25,5**	5,1	0,1 - **145**	**29,1**	*	*	**<10**

***** *undetermined parameter*

Table 1. Synthesis of the physic-chemical analyses for Timis Plain

7. HYDROCHEMISTRY OF THE CONFINE AQUIFER

For the confined Quaternary Formation, the central and western thirds of Timis Plain is situated in the discharge area. It spends the continuous upwelling of deepest water and the associated transfer of heat and matter through the ascending branch of groundwater cell of flow.

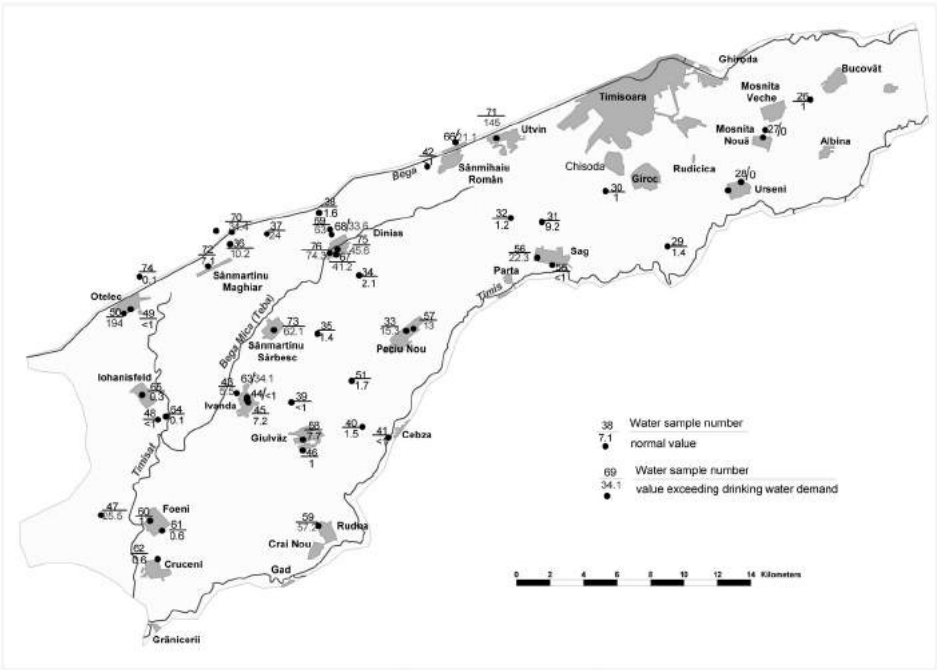


Figure 4. Timis Plain. Contents in arsenic (μg/l)

During 2010, we took ca 50 samples of waters from main wells used for people supply in Timis Plain and the main remark is that the contents in Arsenic (0.1-194 μg/l; mean =29.1 μg/l) (Figure 4), Iron (13.8-2450 μg/l , mean =220 μg/l) and Manganese (1.0-1280 μg/l; mean = 221μg/l) exceed deeply the Standard Demand (< 10 μg/l for Ar; < 200 μg/l for Iron and < 50 μg/l for Mn).

The other three indicators do not meet quality standards. They are: the ammonium (0.0-1.1 mg/l, averaging 0.6 mg/l), the phosphates (0.0 – 1.4 mg/l, averaging 2.2 mg/l) and the organic substances (2.7-39.8 mg/l, averaging 15.3 mg/l).

Our main supposition is: both the phreatic (0-30 m) and the confined (50-300 m depth) sampled sources exceed the standard demand for the organic substances, iron, manganese, arsenic a. o., due to the anoxic environment of deposition and due to their easy solving (on the background of higher thermal gradient). Arsenic natural sources are primarily oxy-salts and sulphur-containing minerals. In upper of crust, its mobility is influenced by pH, organic matter, rock texture, soil aging processes and presence of phosphate or Fe/Al/Mn oxides. The dissolving processes are mediated by a diverse array of bacterial and archaeal genera (Young, 2006).

8. SOME ELEMENTS OF GEOMEDICINE

Arsenic toxicity is now-a-day one Europe problem all over in Pannonian Depression due to excessive use of groundwater as drinking water for many localities (Jiminez et al. 2009). Potentially, hundred of thousands of persons living in the Romanian part of Pan-

nonian Depression are at risk with arsenic concentrations far above acceptable concentrations. The adverse health effects of exposure to high concentrations of arsenic have been well documented and include a variety of effects ranging from death from skin, lung, kidney, and bladder cancers (Young, 2006).

Taking into account the results of Climate Changes (chapter 3), the temperature will increase (≤2.6°C) and the huge function as vaporizer of the Pannonian Depression' basement will be accentuated, having high impact upon the water chemistry and inclusively, for people safety. In many villages of the Timis Plain, the publicly accessible Quaternary confining water wells play an important role in the people supply due to the preference for the well water by the local population. Responsibility of monitoring and management is therefore unclear. The results of study illustrate peculiarities at the local level that are not accounted for EU allowed content (10ppb). Such chemic peculiarities of groundwater are not known of at the national level. Managing the public heath threat in areas with high concentrations of geogenic arsenic it can be made thru the cooperation with water users and with representatives of local level governance institutions. Since in most localities are overcomes drinking water standards by natural (geogenic) conditions, future investments should primarily have in view the processing of water by the purification stations existing in each locality.

CONCLUSION

The uneven subsidence regime (-1.0 to -2.5 mm/year) of Timis Plain basement favored petrographic character differentiation of Quaternary sedimentary rocks (the dominance of medium-coarse sediments and alternating clays and sands to the west).

Due to differences in the sedimentation environments, the phreatic aquifer has a great specific capacity (>6 l/s/m) and poorly mineralized waters on boundaries (east of Timisoara). Productivity falls at <1 l/s/m in central and western part and mineralization increased to >4g/l (locally up to 13g/l).

In the eastern part of Timis Plain the water is 2m deep, but in the center and western parts the water table aquifer is 1m deep.

The confined aquifer system situated at 50-300 m depth has an average specific capacity of 2.5l/s/m, but as the phreatic aquifer has contents that exceed the drinkability standards for ammonium, organic matter, phosphates, iron, manganese and arsenic.

The double heat flow (85-100 mW/m^2) of the basement and the upwelling of deep waters accompanied by heat and matter are the driving forces of groundwater mineralization.

Based on the first results of the project "Climate Change and Its Impact on Water", that the average air temperature will increase by 2.6°C, it is estimated an increase of the groundwater mineralization and significant changes in the quality of water used by people in western Romania.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is largely based on our work in the project "Climate Change and Impact on Water Supply" co- funded by European Union in the South East Europe Transnational Programme 2009-2012.

REFERENCES

[1] Busuioc A., Caian M., Baciu M., Dumitrescu Al., (2009), Ongoing and future climate changes in Bulgaria, Hungary and Romania. In: Clavier Newsletter, issues 4-5-6. *www.clavier-eu.org.*

[2] Gheorghe Al., Craciun P., (1993), Thermal aquifers in Romania. Journal of Hydrology, 145 (1993), , Elsevier Science Publishers, p. 111-123.

[3] Ianos Gh., (2006), Natural and Techonogene Risks of the Agricultural Terrains in Banat, University West Publishing House, Timisoara, 196p.

[4] Jimenez C., Mertens J., Rowland H.A., Baciu C., Berg M., Furrer G., Hug S., Cordosi E., (2009), Groundwater geochemistry and As content in the Eastern Pannonian Basin (Romania) - PCA analysis. Abstracts volume in "Geochimica et Cosmochimica Acta" , Davos.

[5] Seghedi I., Ntaflos T., Pecskay Z., (2008), The Gataia lamproite: a new occurrence at the southeastern edge of the Pannonian Basin, Romania. Geol. Soc. London, Spec. Public., 293, 83-100, DOI : 10 1144/SP295.5.

[6] Veliciu S., Negut A., Vamvu V., Sandulescu M., Borcos M., (1985), Geothermal Map of Romania, scale 1 : 1 000 000 , Inst. Geol. Geofiz., Bucuresti.

[7] Visarion M., Săndulescu M., (1979), Structura subasmentului Depresiunii Pannonice in Romania (sectoarele central si sudic), St.Cerc. Geol. Geogr., Geofizica, t 17, nr 2, Bucuresti, p. 191-201.

[8] Zugrăvescu D., Polonic G., Horomnea M., Dragomir V. (1998), Recent vertical crustal movements on the Romanian territory, major tectonic compartments and their relative dynamics. Rev.Roum.Gèoph., 42, Bucureşti, p 3–14.

[9] Younger P., (2006), Groundwater in the Environment. An Introduction, Blackwell Publishing, 318p.

AUTHORS

Petru Enciu, D.Sc. [a]

Cristina Dumitrica, B.Sc. [a]

[a] Institute of Geography, Romanian Academy, Dimitrie Racovita Str., no. 12, Bucharest, 023994, Romania, *petru.enciu@yahoo.com, geocrisro@yahoo.com*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.47.

REGIONALNA ANALIZA KOLEBANJA RAZINA PODZEMNIH VODA U ISTRI

Josip Rubinić, Milan Mihovilović

SAŽETAK: Dinamika kolebanja razina podzemnih voda odražava dinamiku procesa prihranjivanja i pražnjenja voda krškog vodonosnika. U radu je provedena regionalna analiza registriranih razina podzemnih voda na priobalju Istre tijekom 1995.-2002. kada su takva mjerenja bila provođena na četrnaest lokaliteta. Provedene su analize međuodnosa parametara položaja pijezometara u funkciji nekoliko parametara – udaljenosti lokacije od morske obale, nadmorske visine terena lokacije te srednje razine podzemnih voda. Na temelju odabranog pokazatelja – koeficijenta determinacije (R^2), utvrđeno je da postoji relativno čvrsta regresijska povezanost između udaljenosti od mora i nadmorske visine terena (R^2=0.83) te maksimalnih sezonskih amplituda kolebanja podzemnih voda (R^2=0.84). Samo nešto je slabiji međuodnos s maksimalnim razinama (R^2=0.75) te maksimalnim amplitudama (R^2=0.73) kolebanja podzemnih voda. Vrlo čvrsta povezanost dobivena je i pri analizama međuovisnosti kote terena lokacije i maksimalnih amplituda (R^2=0.83), kao i između maksimalnih i sezonskih amplituda podzemnih voda (R^2=0.93). Utvrđena je i čvrsta povezanost srednjih s minimalnim (R^2=0.91) i maksimalnim razinama podzemnih voda (R^2=0.83), te maksimalnih s minimalnim razina podzemnih voda (R^2=0.98) kao i s maksimalnim amplitudama njihova kolebanja (R^2=0.93). Zaključeno je da rezultati provedenih obrada mogu biti dobra polazna osnova za planiranje korištenja i zaštite podzemnih voda u Istri, a ukazano je i na nužnost obnove mjerenja razina podzemnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: Mjerenja razine podzemnih voda, regresijska analiza, Istra.

REGIONAL ANALYSIS OF GROUND WATER LEVEL VARIATION IN ISTRIA

SUMMARY: Ground water level variation dynamics reflects the process dynamics of karst aquifer water recharge and discharge. The paper deals with the conducted regional analysis of registered ground water levels in Istrian littoral from 1995 to 2002 when such measurements were conducted on fourteen locations. The correlations between the observation piesometer location parameters which were in function of several parameters were analyzed – the distance between the location and the coast, the altitude of the location and the ground water mean value. Based on the selected parameter, the determination co-

efficient (R^2), a relatively strong regression correlation was established between the distance from the sea and the terrain altitude (R^2=0.83) and the maximum seasonal ground water variation amplitudes (R^2=0.84). The correlation between the maximum levels (R^2=0.75) and the maximum ground water variation amplitudes (R^2=0.73) is, however, slightly weaker. A strong correlation was estabished when analyzing the location elevation and the maximum amplitudes (R^2=0.83), as well as between the ground water maximum and seasonal amplitudes (R^2=0.93). Moreover, there is also a strong correlation between the mean and the minimum (R^2=0.91) and the maximum ground water levels (R^2=0.83) and the maximum and the minimum ground water levels (R^2=0.98) as well as with the maximum amplitudes of their variations (R^2=0.93). The results of the conducted analyses are concluded to be a firm starting point for ground water exploitation and protection planning in Istria. The necessity of ground water level measurement restoration has also been pointed out.

KEY WORDS: ground water level measurement, regression analysis, Istria.

1. UVOD

Podzemne vode (p.v.) čine dominantnu komponentu pojavnosti voda u krškim sredinama. Prihranjivanje i pražnjenje takvih krških vodonosnika uglavnom se odvija složenim podzemnim drenažnim sustavima. Stoga se hidrološko praćenje stanja p.v. u krškim vodonosnicima odvijaju uglavnom u vidu praćenja istjecanja voda na izvorima koji dreniraju takve vodonosnike, a rijetko i putem pijezometara s praćenjem dinamike kolebanja razina podzemnih voda. Jedan od takvih izuzetaka u Hrvatskoj na kojem je bilo osigurano sustavno regionalno praćenje razina p.v. je područje Istre, gdje je u njezinom priobalju tijekom razdoblja 1995.-2002. uspostavljen sustav kontinuiranog praćenja (jednom tjedno) razina podzemnih voda na dvadesetak bunara i pijezometara.

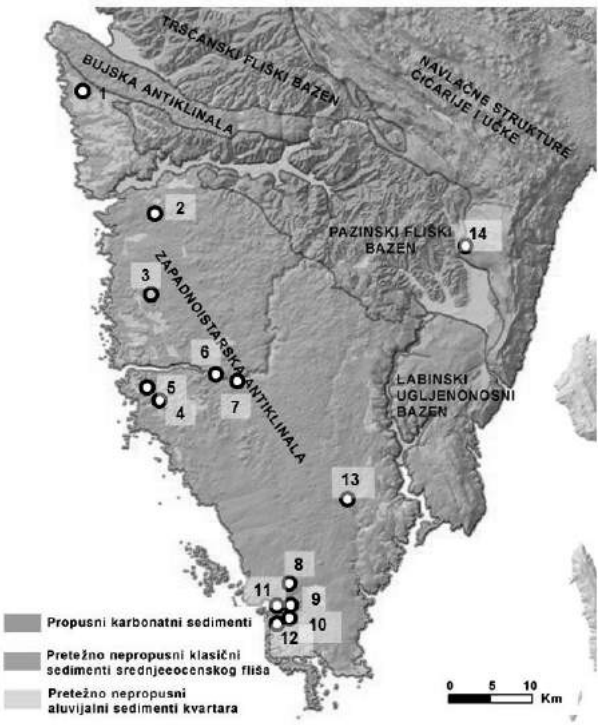
Takav monitoring je uspostavljen na inicijativu nekadašnjeg JVP istarskih slivova iz Labina, podržan i od Hrvatske vodoprivrede, odnosno kasnije Hrvatskih voda, a provodila ga je tvrtka GEO-5 iz Rovinja. Zbog osiguranja financijske održivosti toga monitoringa, uspostavljena su praćenje razina p.v. uglavnom na već postojećim bušotinama (najčešće kopani ili bušeni zdenci). Nažalost, unatoč saznanjima da p.v. Istarskog poluotoka čine nezamjenjiv potencijal za povećanje ukupne razine korištenja vodnih resursa, prije svega u smislu zadovoljavanja vodoopskrbnih i industrijskih potreba, kao i potreba za vodom za navodnjavanje, motrenja su prekinuta pred gotovo deset godina. Samo povremene pojave iznimno sušnih hidroloških prilika, ili pak iznimno vodnih kakva je bila situacija tijekom 2010.g., aktualiziraju pitanje obnove takvog sustavnog monitoringa. Praćenja razina p.v. koja su preostala u Istri ograničena su na utjecajno područje akumulacije Boljunčica, na kojima su mjerene razine p.v. u većoj ili manjoj mjeri pod utjecajem površinskih voda u akumulaciji. Stoga rezultati monitoringa iz spomenutog 8-godišnjeg razdoblja ostaju za sada jedine podloge s kojime su osigurana inicijalna saznanja o dinamici p.v. na tom području.

Rezultati obrade i interpretacija prikupljenih podataka iz početnog razdoblja spomenutoga monitoringa publicirani su, prema raspoloživim saznanjima, u samo tri rada (Urumović, 2000; Bonacci & Roje-Bonacci, 2000a, 2000b), pri čemu je provedenim analizama

obuhvaćeno samo područje Južne Istre. U ovom je radu proveden jedan drugačiji tip analize cjelokupno prikupljenih podataka – njihova regionalna analiza, pri čemu su korištene analize jednostavnih regresijskih međuodnosa između pojedinih utjecajnih faktora.

2. PROSTOR ISTRAŽIVANJA I RASPOLOŽIVE PODLOGE

Mrežom monitoringa p.v. prostorno je pokriveno relativno usko priobalno područje Južne i zapadne obale Istre (niska karbonatna platforma) kojim se rasprostire Zapadnoistarska antiklinala. Ona je daleko najveća geološka struktura na području Istre s površinom od oko 1500 km^2 i proteže od Umaga na sjeverozapadu Istre pa do područja Labina na istoku (Slika 1). Obuhvaća i cijeli južni i jugozapadni dio istarskog poluotoka, hipsometrijski se protežući od kote 0 pa do oko 450 m n.m. Izgrađena je ponajviše od dobro propusnih masivnih i debelo slojevitih vapnenaca, unutar kojih se pojavljuju pojasevi s laporovitom ili dolomitnom komponentom, te tanko pločasti do škriljavi vapnenci s proslojcima lapora. Radi se o uglavnom neporemećenoj ili slabo poremećenoj prostranoj autohtonoj strukturi čiji se najveći dio pruža ispod mora, a iz mora se izdiže samo njen istočni čeoni dio. To je blaga, normalna, uspravna antiklinala, s tektonski neporemećenim slijedom karbonatnih naslaga vrlo blago sekundarno boranih, te s prisutnom radijalnom tektonikom s malom veličinom skokova (Vlahović, 1999).



Slika 1. Prikaz hidrogeoloških cjelina na području Istarskog poluotoka s lokacijama praćenja razina p.v. (1995.-2002.)

Zbog geološke građe, izražena je površinska okršenost koja uvjetuje brzu infiltraciju podzemnih voda, tako da izraženih površinskih vodotoka na prostoru Zapadnoistarske antiklinale gotovo i nema. Izuzetak su u strukturu platforme usječene doline Mirne i Raše, te kanjon Drage koji se nastavlja u Limski kanal. Prema Urumoviću i Rubiniću (2000), hidrogeološke odnose ovog područja uvjetuju specifični rubni uvjeti, od kojih najveću ulogu imaju koncentrirano napajanje p.v. na brojnim ponorima u najvišim središnjim predjelima, ali i dispergirano napajanje preko cijele površine karbonatne platforme, uske barijere kvartarnog nanosa u dolinama Mirne i Raše, kao i morska voda koja okružuje ovu nisku karbonatnu platformu i predstavlja konačan uspor slatkim vodama. U tim uvjetima cirkulacija p.v. je takva da omogućava dulje zadržavanje p.v. u krškom vodonosniku u odnosu na klasične priobalne krške vodonosnike.

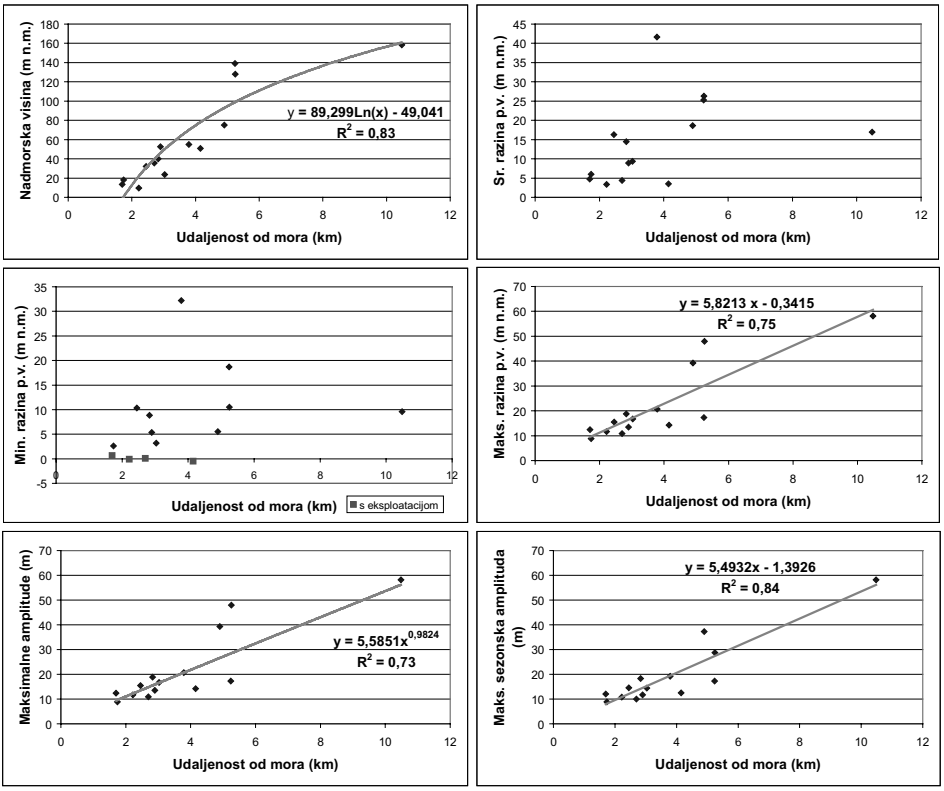
Na priobalnom prostoru Zapadnoistarske antiklinale uspostavljeni sustav monitoringa p.v. bio je vezan za uglavnom postojeće kopane ili bušene bunare, namijenjene vodoopskrbi ili navodnjavanju, kao i na, u sklopu danog projekta monitoringa od strane GEO-5 iz Rovinja, izbušena dva bunara na području Limske drage. Ideja je bila da se upravo depresijom Limskom dragom, gdje su hipsometrijske kote terena najniže, nastavkom izvedbi pijezometaa, s najmanjom metražom bušenja dođe do cjelovitog hidrološkog profila koji bi obuhvatio i središnji dio područja Istarskog poluotoka gdje se pretpostavlja da su i razine p.v. voda najviše. Tijekom analiziranog razdoblja (1995.-2002.) motrenja razina p.v. su provedena na više od dvadesetak lokaliteta, no na nekima od njih bilo je, uglavnom zbog različitih zahvata, i prekida u motrenjima. Zbog toga je izbor pao na odabranih 14 lokaliteta (Slika 1, Tablica 1). Uglavnom se radi o lokalitetima na kojima tijekom razdoblja monitoringa nije crpljena p.v. Tamo gdje je crpljena p.v., praćenje razine p.v. provođeno je u stanjima bez crpljenja, u uvjetima kad je u neposrednom okruženju dosegnuta lokalna stabilizacija razine p.v. Iz danog je prikaza vidljivo je da je istraživačka bušotina BU-TU 43-83, jedina koja nije locirana na području Zapadnoistarske antiklinale već na širem području akumulacije Boljunčica, pod djelomičnim utjecajem infiltracije površinskih voda iz akumulacije u okolno podzemlje. No, zbog okolnosti da je taj utjecaj značajan samo u uvjetima iznimno visokih razina vode u akumulaciji, u dane analize su uključeni i ti podaci.

ŠIFRA	NAZIV I LOKACIJA	VRSTA	NADM. VISINA (m n.m.)	DU-BINA (m)	UDALJ. OD MORA (km)	KORIŠTENJE:	PRIMJEDBE:
1	BŠ-A1 Špinel - Umag	bušotina	13.5	42	1.70	Za navodnjavanje – ali nisu korištene u razdoblju motrenja	Izdaš. 5 l/s
2	BŠ-B1 Delašnica - Kaštelir	bušotina	139.0	136	5.24		Vrlo mala izdašnost
3	BU-B2 Musalež - Poreč	bunar	55.0	35	3.79		Kopan u 19.st.
4	BU-C1 S.Ciprijan - Rovinj	bunar	32.0	24	2.45		Kopan u 19.st.
5	BŠ-C13 Bazilika - Rovinj	bušotina	18.0	25	1.74		Izdaš. 0.2 l/s
6	BŠ-B6 Lim – nizv.	bušotina	40.0	47	2.83	Za monitoring	Izdaš. < 0.1 l/s
7	BŠ-B8 Lim – uzv.	bušotina	75.0	136	4.90		Izdaš. < 0.1 l/s
8	BU-D18 Vidrijan - Pula	Bunar	52.5	cca 50	2.90	Za vodopskrbu – nije korišt.	Izdaš. > 4 l/s
9	BU-D8 Jadreški - Pula	bunar	50.8	52	4.15	Vodovod Pula - crpljeno prosječno preko 30 l/s	Izdaš. 28 - 41 l/s
10	BŠ-D12 Campanož - Pula	bušotina	35.64	Isp. 0	2.70	Vodovod Pula - crpljeno prosječno 15-tak l/s	Izdaš. 11 l/s
11	BŠ-D13 Rizzi - Pula	bušotina	9.47	Isp. 0	2.22	Vodovod Pula - Zbog onečišćenja crpljenje samo sporadično – radi održavanja.	Izdaš. 11 l/s – onečišć.
12	BŠ-D14 Lokvera - Pula	bušotina	23.7	Isp. 0	3.03		Izdaš. 5 l/s – onečišć.
13	BŠ-D17 Lupetina - Marčana	bušotina	128.0	150	5.250	Za navodnjava-nje – povremeno korištena	Izdaš. 0.5 l/s
14	BU-TU 43-83 Boljunsko polje	bušotina	158.33	210	10.48	Za monitoring – za praćenje stanja akumulacije Boljunčica	Bivša duboka rudnička bušotina

Tablica 1. Osnovni podaci o lokalitetima na kojima je praćeno kolebanje razina podzemnih voda

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na temelju osnovnih podataka o režimu p.v. provedena je i regionalna analiza – analiza regresijskih međuodnosa nekoliko utjecajnih parametara koji karakteriziraju svaku od lokacija na kojima se prati dinamika kolebanja razina p.v. Zbog nedostatka većeg broja prostorno dobro raspoređenih lokaliteta na kojima se prate razine p.v. namjera tih analiza nije bila da se definiraju neki čvrsti regionalni odnosi, nego osiguranje podloga za diskusiju osnovnih elemenata dinamike kolebanja razina p.v. voda na analiziranom regionalnom prostoru. Kao mjerilo podudarnosti između opaženih i prema regresijskoj vezi proračunatih vrijednosti korišten je koeficijent determinacije (R^2). Pri spomenutim analizama provedene su analize međuodnosa parametara položaja pijezometara kao što je udaljenost od morske obale (Slika 2), nadmorska visina lokacije (Slika 3), te parametara koji karakteriziraju režim p.v. – srednje (Slika 4) te maksimalne razine p.v. (Slika 5).

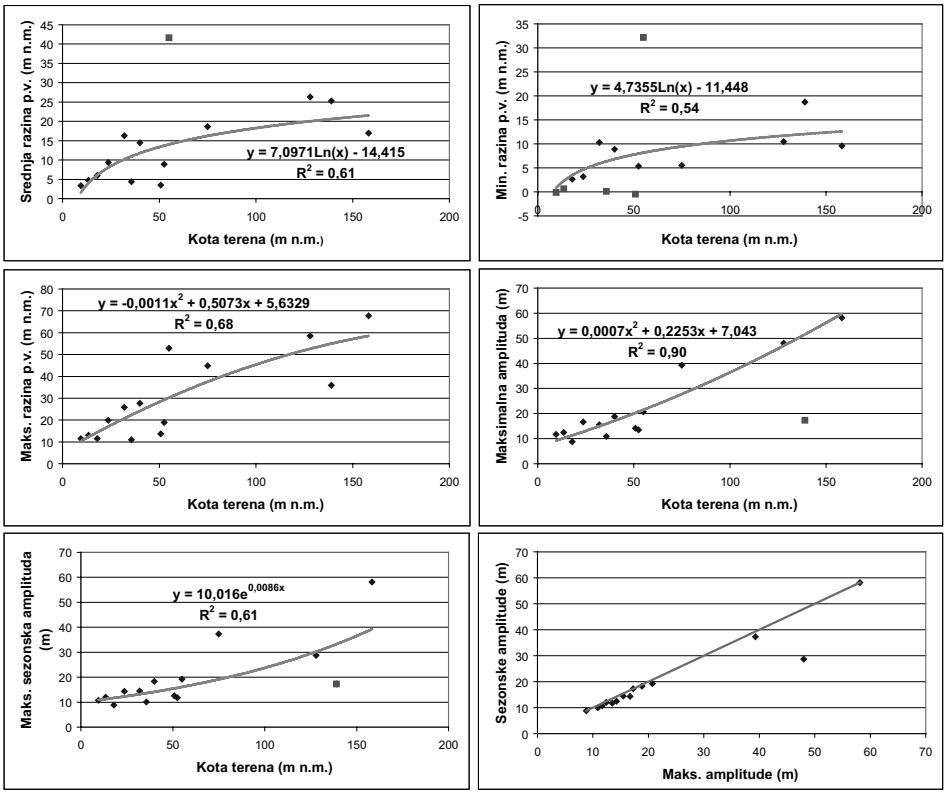


Slika 2. Međuodnosi karakterističnih pokazatelja odabranih pijezometara na području Istre - udaljenosti od mora i: a) nadmorskih visina pijezometara; b) srednjih razina p.v.; c) minimalnih razina p.v. ; d) maksimalnih razina p.v., e) maksimalnih opaženih amplituda kolebanja razina p.v.; f) maksimalnih opaženih sezonskih amplituda kolebanja razina p.v.

Utvrđeno je (Slika 2a) da postoji relativno čvrst međuodnos – porast kota terena na kome se nalaze analizirani pijezometri s povećanjem udaljenosti od mora, a koji generalno odražava i morfologiju većeg dijela istarskog poluotoka. Iz tog međuodnosa najviše odstupaju podaci s pijezometara Delašnica (2) i Lupetina (13) koje se nalaze se na višim kotama u odnosu na utvrđenu regresijsku vezu. Vidljivo da ne postoji nikakva međusobna čvršća regresijska povezanost između udaljenosti od mora i srednjih, kao ni minimalnih razina p.v., dok maksimalne razine p.v. pokazuju naznake postojanja takve povezanosti (R^2=0.75). Slični međuodnosi vladaju i pri analizi povezanosti udaljenosti od mora i maksimalnih opaženih amplituda – raspona kolebanja podzemnih voda tijekom cjelokupnog analiziranog razdoblja (R^2=0.73), a nešto čvršća veza je utvrđena uzimajući u obzir maksimalne sezonske opažene amplitude (R^2=0.84). Iz na Slici 2 danih pokazatelja proizlazi da se udaljenošću od morske obale povećavaju maksimalne razine p.v., kao i amplitude njihova kolebanja. Minimalne razine p.v. pod značajnijim su utjecajem režima crpljenja, te su na Slici 2c izdvojeni podaci dobiveni na lokalitetima u eksploataciji. No, nisu utvrđene prihvatljive regresijske veze koje

indiciraju na povećanje minimalnih razina p.v. s udaljenošću od mora.

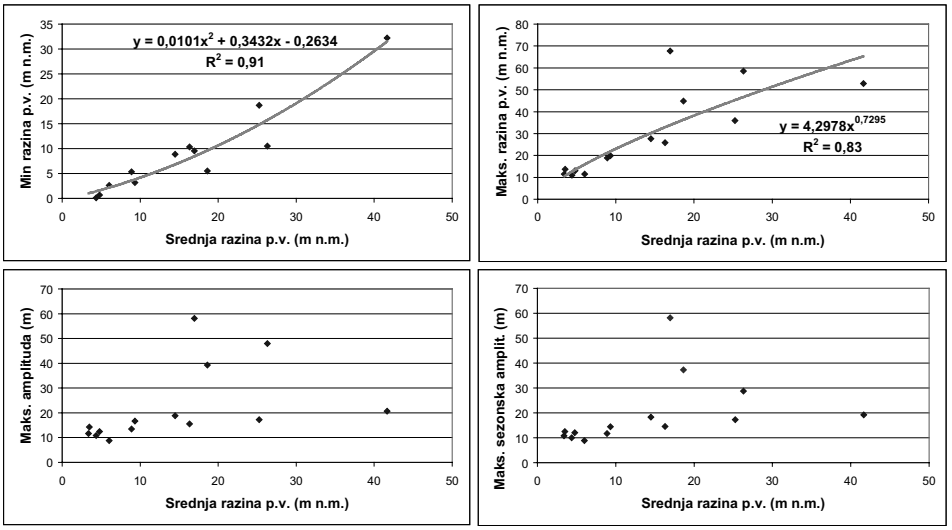
Iz prikaza danih međuodnosa na Slici 3a vidljivo je srednje razine p.v. pokazuju generalni trend povećanja s povećanjem kote terena, a od kojeg odnosa jako odstupaju razine podzemnih voda registrirane na lokalitetu Musalež (3), koje su stoga izostavljene iz provedene analize. Izvjesna veća odstupanja (manje vrijednosti) pokazuju i podaci s lokaliteta Jadreški (9), Campanož (10) i Vidrijan (8) a što je kod prva dva lokaliteta moguće dijelom posljedica utjecaja eksploatacije, ali i povoljnijih hidrauličkih uvjeta na široj utjecajnoj zoni – izraženije komunikacije podzemnih voda, a što indicira i mogućnost zahvata većih količina. Iz Slike 3b vidljivo je da postoji relativno slaba povezanost kote terena i minimalnih razina p.v. (R^2=0.54), iako su iz razmatranja isključeni i lokaliteti na kojima se vrši eksploatacija, ali i pijezometar Musalež (3) koji je pak pokazivao značajnije veće vrijednosti. Nasuprot tome, utvrđena je (Slika 3c) relativno prihvatljiva regresijska veza između kota terena i maksimalnih razina podzemnih voda (R^2=0.68). Još čvršću vezu pokazuje međuodnos kota terena i maksimalne registrirane amplitude kolebanja razina podzemnih voda (Slika 3d) (R^2=0.90), gdje je zbog prevelikih odstupanja (značajnije manje vrijednosti) iz razmatranja izostavljena Delašnica (2).



Slika 3. Međuodnosi karakterističnih pokazatelja odabranih pijezometara na području Istre - kota terena pojedinih pijezometara i a) srednjih razina p.v.; b) minimalnih razina p.v. ; c) maksimalnih razina p.v., d) maksimalnih opaženih amplituda kolebanja razina p.v.; e) maksimalnih opaženih sezonskih amplituda kolebanja razina p.v.; f) međuodnos maksimalnih opaženih i maksimalnih sezonskih amplituda kolebanja razina p.v.

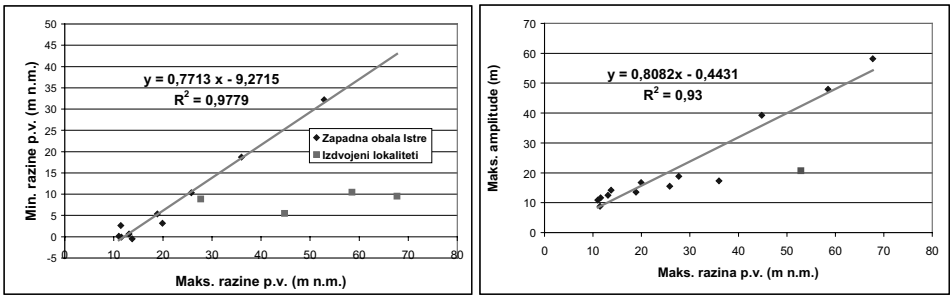
Na Slici 3f dat je odnos između maksimalnih amplituda i maksimalnih sezonskih amplituda registriranih na pojedinim lokalitetima iz koga je vidljivo da su maksimalne sezonske amplitude tijekom analiziranog razdoblja bile vrlo bliske maksimalnim amplitudama – rasponu opaženih vrijednosti za cjelokupno analizirano razdoblje - izuzev na lokalitetu Lupetina (13).

Iz Slike 4 vidljivo je da postoji relativno dobra povezanost srednjih i minimalnih razina vode (R^2=0.91), a nešto slabija između srednjih i maksimalnih razina voda (R^2=0.83), dok nikakva čvršća povezanost nije utvrđena pri analizi međuodnosa srednjih razina p.v. i maksimalnih, kao i maksimalnih sezonskih amplituda.



Slika 4. Međuodnosi karakterističnih pokazatelja odabranih pijezometara na području Istre - Srednjih razina p.v. i: a) minimalnih razina p.v.; b) maksimalnih razina p.v. c) maksimalnih opaženih amplituda kolebanja razina p.v.; d) maksimalnih opaženih sezonskih amplituda kolebanja razina p.v.

Dati prikaz na Slici 5a pokazuje da kod dijela većeg analiziranih lokaliteta postoji vrlo čvrsta povezanost maksimalnih i minimalnih razina podzemnih voda (R^2=0.98), iz čega su isključeni lokaliteti u dolini Lima (7), Lupetina (13) i Boljunsko polje (14), kao i povezanost (R^2=0.93) između maksimalnih razina p.v. i maksimalno zapaženih amplituda kolebanja razina p.v. (Slika 5b).



Slika 5. Međuodnosi karakterističnih pokazatelja odabranih pijezometara na području Istre –maksimalnih razina p.v.i: a) minimalnih razina p.v.; b) maksimalnihopaženih amplituda kolebanja p.v.

ZAKLJUČAK

Dani rad, temeljen na raspoloživim podacima o kolebanjima razina p.v. na priobalnom području istarskog poluotoka pokazao je da se i sa relativno skromnim fondom opaženih podataka o dinamici tih kolebanja na nekom regionalnom prostoru mogu dobiti interesantni pokazatelji. Tako su na temelju provedenih analiza utvrđene međuovisnosti između više parametara koji karakteriziraju lokacije na kojima se provode takva mjerenja – udaljenosti lokacije od morske obale, nadmorske visine terena lokacije, kao i karakterističnih razina podzemnih voda. Pri provedenim analizama korišteni su jednostavni jednoparametarski regresijski modeli koji su dali prihvatljive rezultate kod više analiziranih utjecajnih faktora. Stoga rezultati provedenih obrada mogu biti dobra polazna osnova za planiranje korištenja i zaštite podzemnih voda u Istri, pri čemu je nužno obnoviti i unaprijediti ranije uspostavljeni a onda i napušteni sustav monitoringa razina podzemnih voda.

LITERATURA

[1] Bonacci,O, Roje-Bonacci,T, (2000a): *Posebnosti krških vodonosnika.* Hrvatske vode, 8/30, 25-42.

[2] Bonacci,O, Roje-Bonacci,T, (2000b): *Interpretation of groundwater level monitoring results in karst aquifers: examples from the Dinaric karst* . Hydrological Processes. Volume 14/14, 2423-2438.

[3] Urumović, K, (2000): *Uvjeti prodora morske vode u krški vodonosnik pulskih zdenaca,* Zbornik radova 2.Hrvatskog geološkog kongresa (Ur: Vlahović, I, Biondić, R.), Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 815-820.

[4] Urumović, K, Rubinić, J. (2000). *Vodoopskrbni sustav Istre – knjiga 1 - Idejno rješenje sustava izvorišta vode u regionalnom prostoru.* Hidroprojekt-ing, Zagreb.

[5] Vlahović, T. (1999): *Utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri*: *doktorska disertacija*. Sveučilište u Zagrebu – RGN fakultet. Zagreb.

AUTORI

Josip Rubinić[a]
Milan Mihovilović[b]

[a] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V.C.Emina 5, 51.000 Rijeka, Hrvatska, *jrubinic@gradri.hr*

[b] Geo 5, Carera 59, 52210 Rovinj, Hrvatska, *geo-5@pu.htnet.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.48.

PROMJENA IZDAŠNOSTI IZVORIŠTA „PAŠINO VRELO“ – UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA ILI DUGOGODIŠNJE EKSPLOATACIJE PODZEMNE VODE?

Ozren Larva, Tamara Marković, Vinko Mraz

SAŽETAK: U dolini rijeke Sunje, između naselja Borojevići i Mečenčani, nalazi se izvorište „Pašino vrelo“ na kojem se drenira podzemna voda karbonatnog vodonosnika badenske starosti i kvartarnog aluvijalnog vodonosnika. Osim istoimenog izvora, na izvorištu se nalaze još dva izvora – Bojanića vrelo i Davidovića vrelo. Eksploatacija podzemne vode datira od 70-tih godina prošlog stoljeća kada su na izvorištu izvedena 2 zdenca. Minimalna izdašnost izvorišta tada je iznosila 80 l/s. Naknadno je izveden i treći zdenac čime je ukupna izdašnost zahvata povećana na 38 l/s. Ipak, zbog limita vodoopskrbne mreže prosječna eksploatacijska količina ne prelazi 20 l/s. Prirodna kakvoća podzemne vode je zadovoljavajuća, međutim specifični hidrogeološki uvjeti te blizina onečišćivača uzrokuju povremeno bakteriološko zagađenje. Zbog rastućih potreba za pitkom vodom posljednjih su godina provedena hidrogeološka istraživanja s ciljem sagledavanja mogućnosti zahvaćanja dodatnih količina podzemne vode i njene adekvatne zaštite. Istraživanja su obuhvatila analizu hidrodinamičkih uvjeta u vodonosniku i hidrokemijskih svojstava podzemne vode. Osim razlika u hidrodinamičkim uvjetima istjecanja podzemne vode na Pašinom i Bojanića vrelu, primijećene su i osjetno manje količine istjecanja na izvorištu u odnosu na rezultate praćenja izdašnosti iz 70-tih godina. Rezultati provedenih istraživanja upućuju na zaključak da smanjena izdašnost izvorišta ipak nije posljedica promjene u bilanci prirodnog hidrološkog ciklusa već isključivo dugogodišnje eksploatacije podzemne vode.

KLJUČNE RIJEČI: karbonatni/aluvijalni vodonosnik, izdašnost, klimatske promjene, eksploatacija podzemne vode

CHANGE OF YIELD AT THE GROUNDWATER SOURCE “PAŠINO VRELO” – INFLUENCE OF THE CLIMATE CHANGE OR THE LONG TIME GROUNDWATER EXPLOITATION

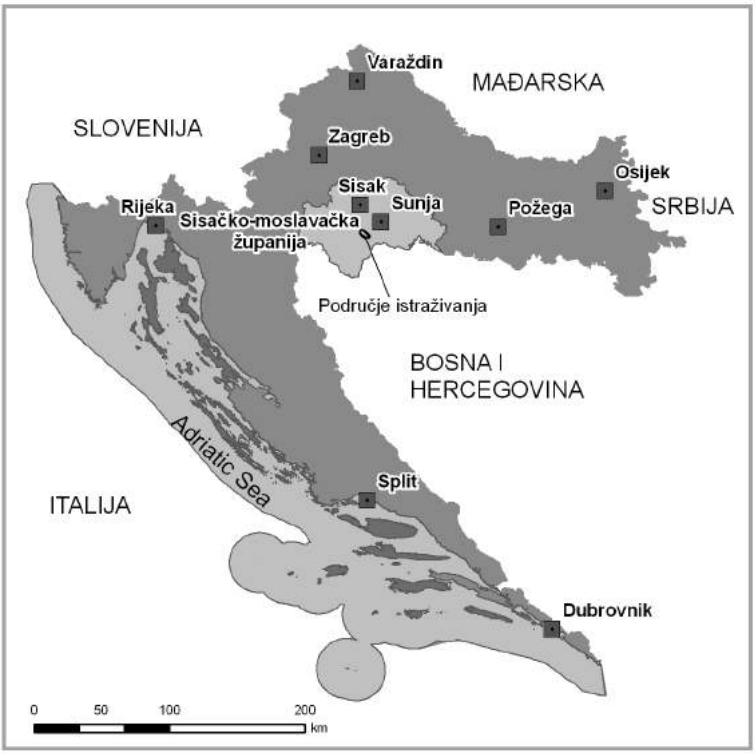
SUMMARY: In the Sunja river valley, between the settlements Borojevići and Mečenčani, the groundwater source “Pašino vrelo” is situated, where the groundwater from Badenian carbonate aquifer and Quaternary alluvial aquifer is discharged. There are two more springs around the main spring – Bojanića vrelo and Davidovića vrelo. Back in

1970s, the minimal yield of the spring group was 80 l/s. The pumping site has been active since 1970s, when two wells were drilled. Afterwards, the third well was drilled and the total yield of the wells was increased to 38 l/s. However, due to the limited flow rate in the distribution network, about 20 l/s are abstracted on average. The natural quality of groundwater is satisfactory; however, specific hydrogeological conditions in the aquifer and immediate vicinity of polluters cause occasional microbiological pollution of groundwater. Such circumstances determined to a great extent the considerations of the protection concept for the groundwater source and the investigation works which have been carried out in recent years with the aim of ensuring additional quantities of drinking water. Extensive hydrogeological and hydrochemical investigations have been conducted in the catchment area of the aquifer. Differences in the hydrodynamic conditions between Pašino vrelo spring and Bojanića vrelo spring have been observed as well as lowering of yields on both springs as compared to the 1970s. The results of the performed investigations indicate that the lowered yields are not the consequence of change of hydrological water balance but solely the result of groundwater exploitation over a long time.

KEY WORDS: carbonate/alluvial aquifer, yield, climate change, groundwater exploitation

1. UVOD

Izvorište pitke vode „Pašino vrelo“ nalazi se u dolini rijeke Sunje, između naselja Borojevići i Mečenčani na prostoru Sisačko-moslavačke županije, općina Hrvatska Kostajnica (slika 1). Osim istoimenog izvora, na izvorištu se nalaze još dva izvora – Bojanića vrelo i Davidovića vrelo. Crpilište je aktivno od 70-tih godina prošlog stoljeća kada su temeljem povoljnih rezultata hidrogeoloških i geofizičkih istraživačkih radova izvedena dva zdenca. Tada su karakteristične vrijednosti dnevnih protoka Pašinog vrela iznosile: Q_{max} = 115 l/s; Q_{min} = 52 l/s; Q_{sr} = 75 l/s, a mjesečnih Q_{max} =87.5 l/s; Q_{min} = 61.5 l/s; Q_{sr} = 74.9 l/s. Magdalenić i drugi (1976) navode da na skupini izvora Pašinog vrela istječe u minimumu više od 80 l/s vode. Danas su u pogonu tri zdenca (PVB-1, PVB-2 i PVB-3), kojima je zahvaćen karbonatni vodonosnik badenske starosti. Nominalna izdašnost crpilišta iznosi 38.4 l/s, međutim u praksi se zbog ograničenja protočnosti distribucijske mreže u prosjeku crpi oko 20 l/s. Prirodna kakvoća podzemne vode zadovoljava odredbe Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08). Međutim, specifičnosti hidrogeoloških uvjeta u vodonosniku te neposredna blizina zagađivača uzrokuju povremeno mikrobiološko onečišćenje podzemne vode. Posljednjih su godina provedena opsežna hidrogeološka istraživanja s ciljem utvrđivanja mogućnosti zahvaćanja dodatnih količina podzemne vode te adekvatne zaštite izvorišta. Ovdje su prikazani rezultati analize hidrodinamičkih i hidrokemijskih istraživanja kvartarnog aluvijalnog i badenskog karbonatnog vodonosnika, kako bi se omogućilo donošenje zaključaka o njihovom hidrauličkom odnosu, zatim o hidrodinamičkim uvjetima istjecanja podzemne vode na izvorima te uzrocima smanjenja izdašnosti izvora.



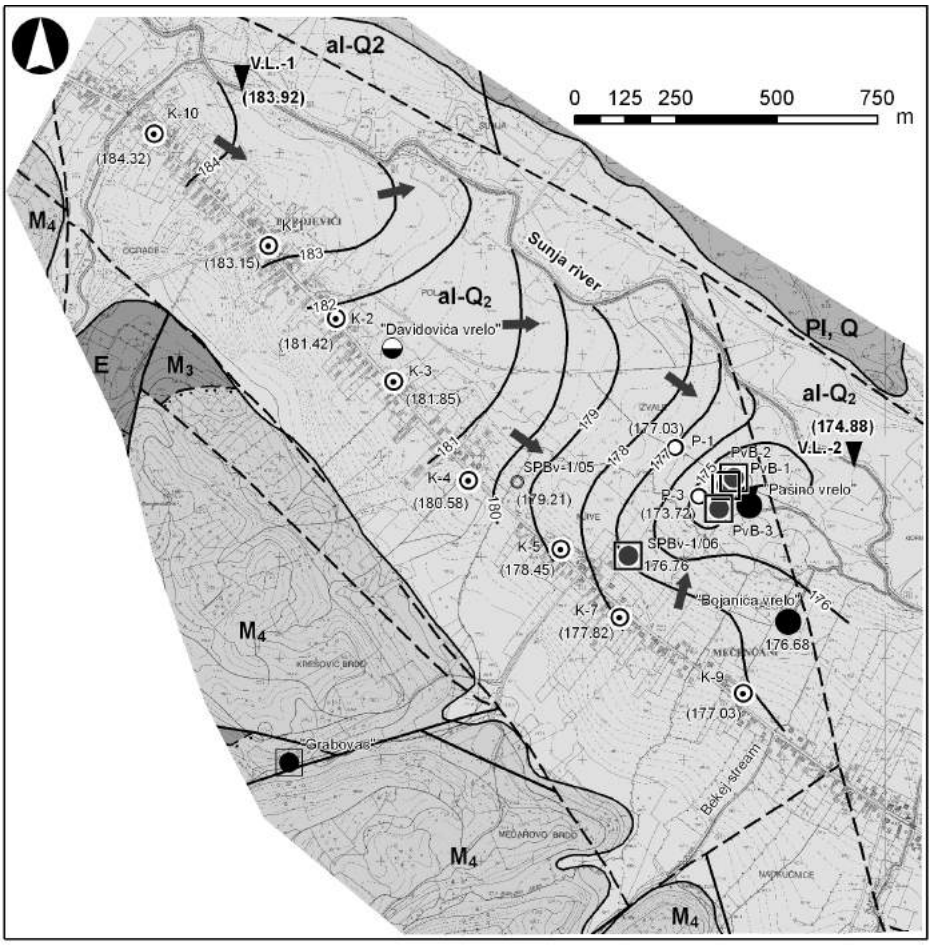
Slika 1. Položajna karta

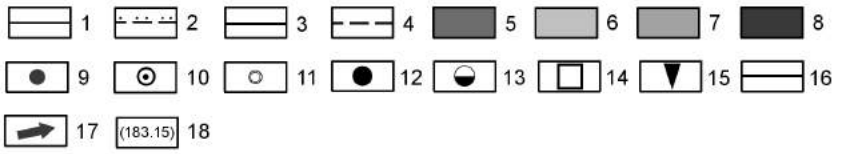
2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na širem području izvorišta nalaze se naslage raspona starosti paleogen-kvartar. Paleogen je zastupljen eocenskim sedimentima (E) za koje je karakteristična vertikalna i lateralna izmjena pješčenjaka, šejlova, siltita i konglomerata. Mogućnost akumuliranja podzemne vode u njima je neznatna, ali se zbog toga odlikuju razvijenom površinskom hidrografskom mrežom. Izvori u tim naslagama su malih izdašnosti, reda veličine 0.1 l/s ili manje. Diskordantno na eocenskim naslagama nalaze se klastiti otnanga (M_3). Oni se pojavljuju se kao erozijski ostaci na eocenskom flišu, a sastoje se pretežno od izmjene zaglinjenih pijesaka i glina. Transgresivno na sedimentima otnanga slijede gornjobadenske naslage (M_4) u čijem se baznom dijelu većinom nalaze slabo vezani konglomerati ili breče s fragmentima starijih stijena podine. Na njima slijedi karbonatne stijene zastupljene litavcem i litotamnijskim vapnencem. Te su stijene šupljikave i porozne i stoga omogućuju infiltraciju površinske i cirkulaciju podzemne vode. Osim poroznosti tim su stijenama često svojstvene i krške pojave - vrtače, manje spilje i kanali, koje lokalno značajno utječu na hidraulička svojstva naslaga. Sedimenti sarmata i panona (M_5 i M_6) zastupljeni su dominanto laporima, a plio-pleistocenski klastiti (Pl, Q) glinama, glinovitim pijescima i rijetko šljuncima. Najmlađe naslage su kvartarni aluvijalni sedimenti (al, Q_2), koji se nalaze u dolini rijeke Sunje. Zastupljeni su šljuncima, pijescima, glinama i zaglinjenim šljuncima s kršjem i valuticama starijih stijena. U podlozi se uglavnom nalazi krupniji, proluvijalni

nanos, na kojem je kasnije taložen riječni nanos. Tok Sunje se u prošlosti često premještao što je prouzročilo vertikalne i lateralne izmjene krupnozrnog šljunka, pijeska, pjeskovite i šljunkovite gline. Aluvij Sunje je u cijelosti nevezani do slabo vezani sediment koji u krupnozrnatijim dijelovima omogućava infiltraciju i cirkulaciju podzemne vode. Debljina kvartarnog nanosa u dolini Sunje iznosi oko 10 m.

S hidrogeološkog su aspekta opisane stijene kategorizirane u rasponu od vrlo dobre propusnosti do pretežno nepropusnih stijena (slika 2). Generalni smjer toka podzemne vode je prema jugoistoku. Primjećuje se konus depresije izazvan radom zdenaca na izvorištu te drenažni utjecaj Sunje u uvjetima niskih voda. S aspekta korištenja podzemne vode najveću važnosti ima badenski karbonatni vodonosnik za koji su vezane pojave izviranja na Pašinom, Bojanića i Davidovića vrelu, kao i eksploatacija podzemne vode pomoću bušenih zdenaca na području izvorišta.

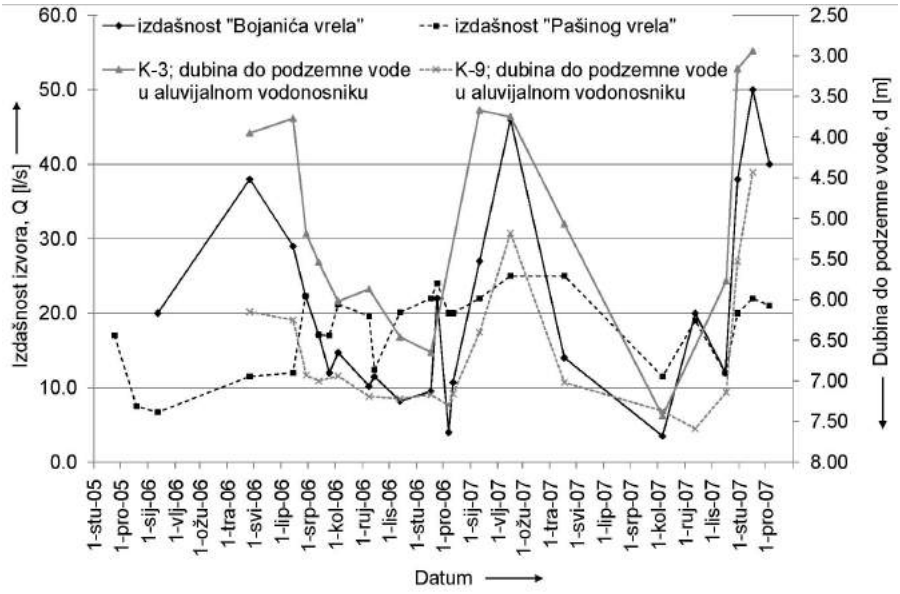




Slika 2. Hidrogeološka karta s hidroizohipsama i smjerom toka podzemne vode. 1 – geološka granica; 2 – pretpostavljena transgresivna granica; 3 – rasjed; 4 – pretpostavljeni rasjed; 5 – Pl,. Q –pliokvartarni klastiti – stijene slabe propusnosti; 6 – al-Q2 – kvartarni aluvijalni sedimenti - stijene pretežno vrlo dobre propusnosti; 7 –M4 – badenski litotamnijski vapnenci - stijene dobre propusnosti; 8 –E, M3, M5, M6 – eocenski, otnanški, sarmatski i panonski klastični sedimenti – pretežno nepropusne stijene; 9 – bušeni zdenac; 10 – kopani zdenac; 11 – istražna bušotina; 12 – stalni izvor; 13 – povremeni izvor; 14 – zahvat; 15 – mjerna postaja; 16 – hidroizohipsa; 17 – smjer toka podzemne vode; 18 – piezometarska razina;

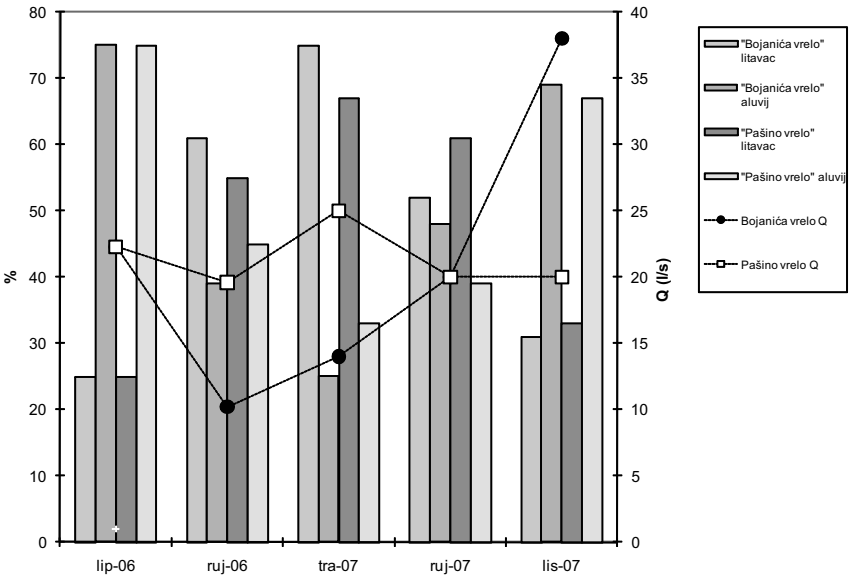
Nastanak izvora uvjetovan je povoljnim strukturno-tektonskim odnosima. Oni su karakterizirani dinarskim pravcem pružanja glavnih strukturnih jedinica i tektonskih elemenata. Duž rasjeda je došlo do postupnog spuštanja neogenskih naslaga prema sjeveroistoku. Opetovani tektonski pokreti uzrokovali su lomljenje i drobljenje čvrstih karbonatnih stijena stvarajući na taj način uvjete za infiltraciju i cirkulaciju vode u podzemlju. Pojave izvora posljedica su izraženog dijagonalnog rasjeda dolinom Sunje, koji je u neposredan kontakt doveo vodopropusne litotamnijske vapnence s nepropusnim laporima panona. Vodonepropusni lapori uvjetovali su pojavu uzlaznih izvora u ovom dijelu doline rijeke Sunje, formirajući izvorište „Pašino vrelo“.

U vertikalnom se razrezu naslaga na širem području izvorišta kvartarni aluvijalni vodonosnik nalazi neposredno na badenskom karbonatnom vodonosniku čineći na taj način hidraulički povezani sustav. Na mogućnost takvih odnosa ukazali su rezultati istraživanja s kraja prošlog stoljeća (Šimunić i Hećimović, 1998) a analizama hidrodinamičkih i hidrokemijskih značajki vodonosnika provedenih posljednjih godina ta je pretpostavka potvrđena. Osim toga, primijećeni su i različiti uvjeti istjecanja podzemne vode na Pašinom i Bojanića vrelu. Pašino vrelo pokazuje veću stabilnost izdašnosti i pod jačim je utjecajem dotoka iz karbonatnog vodonosnika u usporedbi s Bojanića vrelom. Nasuprot tome, Bojanića vrelo je pod izravnijim utjecajem hidrodinamičkih uvjeta u aluvijalnom vodonosniku. O tome svjedoči podudaranje trendova izdašnosti Bojanića vrela i razina podzemne vode u kvartarnom aluvijalnom vodonosniku dok, nasuprot tome, izdašnosti Pašinog vrela i razina vode u aluvijalnom vodonosniku povremeno imaju suprotan trend (slika 3).



Slika 3. Dubine do vode izmjerene u kopanim zdencima koji zahvaćaju aluvijalni vodonosnik i izdašnosti izvora

Procjena udjela voda iz litotamnijskog i aluvijalnog vodonosnika na Pašinom i Bojanića vrelima i zdencima PVB-1, PVB-2 i PVB-3 učinjena je pomoću modela ravnoteže masa NETPATH (Plummer i dr., 1994). Primjećuje se simultano dreniranje voda na izvorima iz oba vodonosnika (slika 4). Međutim, njihovi udjeli se mijenjanju u ovisnosti o hidrološkim uvjetima. Tako u uvjetima niskih i srednjih voda prevladava komponenta podzemne vode iz karbonatnog vodonosnika (slika 4). Nasuprot tome, za vrijeme visokih voda dominantna je komponenta podzemne vode iz aluvijalnog vodonosnika (slika 4).

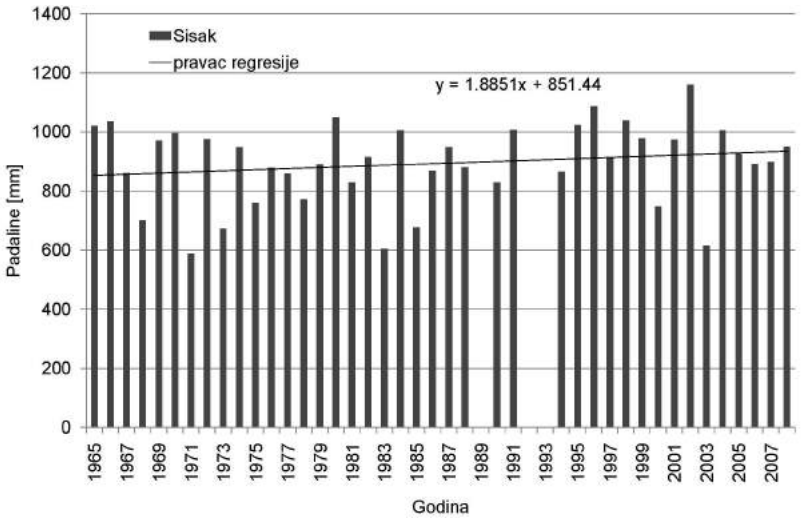


Slika 4. Dijagram izračunatih udjela u vodama Bojanića i Pašinog vrela

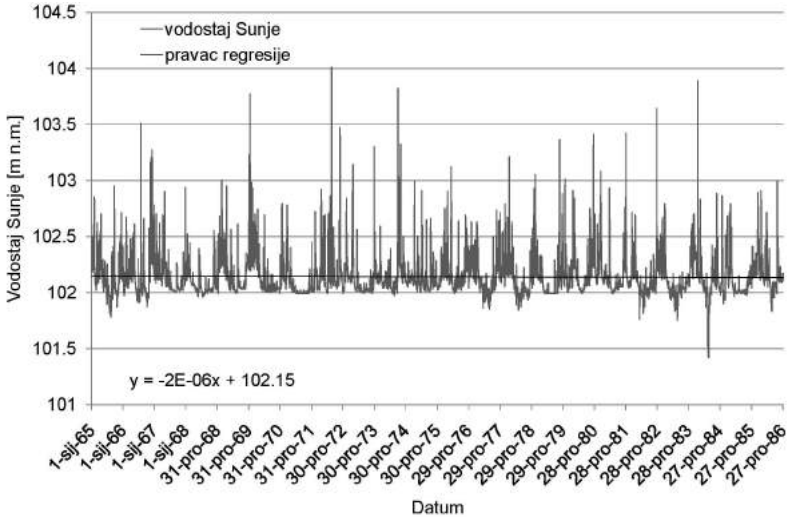
Premda su izdašnosti na izvorištu mjerene sporadično u razdoblju od prosinca 2005. do prosinca 2007., ipak je evidentno značajno smanjenje istjecanja na izvorištu u odnosu na rezultate mjerenja provedenih 70-tih godina prošlog stoljeća (Magdalenić i dr., 1976). Naime, tada je minimalna izdašnost izvorišta iznosila 80 l/s, dok je primjerice u kolovozu 2007. iznosila 15 l/s, pri čemu je zanemarena izdašnost Davidovića vrela koje u uvjetima niskih voda ionako presuši. Ako se izmjerenoj izdašnosti doda količina crpljenja od prosječno 20 l/s, još uvijek je ukupna vrijednost približno dvostruko manja od minimalne izdašnosti izvorišta iz 70-tih godina prošlog stoljeća. Takve okolnosti potaknule su analizu hidroloških značajki na njegovom priljevnom području s ciljem utvrđivanja uzročnika smanjenja izdašnosti izvorišta. U tu su svrhu analizirani:

a) vremenski nizovi padalina za razdoblje od 1965. do 2009. na meteorološkoj postaji u Sisku (slika 5)
b) vremenski nizovi vodostaja Sunje u Sunji za razdoblje od 1965. do 2009. Vodostaji su analizirani posebno za razdoblja od 1965. do 1987. i od 1987. do 2009. (slike 6 a) i b)) zbog promjene pozicije vodomjerne postaje početkom 1987. godine.

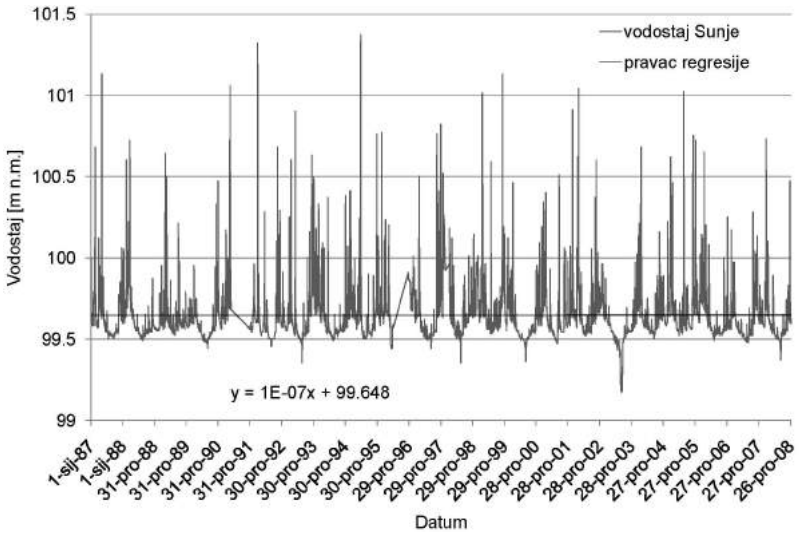
Analizirane ukupne količine padalina ukazuju na povećanje njihovih količina na području prihranjivanja izvora i zdenaca (slika 5). S druge strane, rezultati analize vodostaja Sunje ne pokazuju znakovit trend. Zaključuje se iz navedenog da hidrološki uvjeti u posljednjih 40-tak godina na području prihranjivanja izvora i zdenaca nisu prouzročili smanjenje izdašnosti na izvorima. Negativan trend izdašnosti isključivo je posljedica dugogodišnje eksploatacije podzemne vode na crpilištu.



Slika 5. dijagram ukupnih oborina na meteorološkoj postaji Sisak od 1965. do 2009 s linearnim regresijskim pravcem.



a)



b)

Slika 6. Vodostaji Sunje na vodomjernoj postaji u Sunji s linearnim regresijskim pravcem za razdoblja a) 1965.-1987 i b) 1987.-2009.

ZAKLJUČAK

Karbonatni vodonosnik badenske starosti predstavlja iznimno vrijedan izvor podzemne vode na području općine Hrvatske Kostajnice. Zahvaljujući povoljnim strukturno-tektonskim odnosima podzemna voda istječe na Pašinom, Bojanića i Davidovića vrelima. Zahvatima na području izvorišta danas se iz tog vodonosnika u prosjeku crpi 20 l/s, a zbog širenja vodoopskrbnog sustava u skoroj budućnosti očekuje se povećanje kapaciteta crpilišta. Težište nedavnih istraživanja vodonosnog sustava Pašino vrelo stavljeno je na definiranje njegovih hidrodinamičkih i hidrokemijskih značajki. Rezultati su potvrdili vezu između karbonatnog i aluvijalnog vodonosnika. Dokazana je podudarnost oscilacija razina podzemne vode u kvartarnom aluvijalnom vodonosniku i količine istjecanja na Bojanića vrelu. Uvjeti istjecanja na Pašinom i Bojanića vrelu međusobno se razlikuju. Naime, Pašino vrelo pokazuje veću stabilnost izdašnosti i pod jačim je utjecajem dotoka iz karbonatnog vodonosnika. Nasuprot tome, Bojanića vrelo je pod izravnijim utjecajem hidrodinamičkih uvjeta u aluvijalnom vodonosniku. Proračun udjela voda iz karbonatnog i aluvijalnog vodonosnika na Pašinom i Bojanića vrelu, te zdencima PVB-1, PVB-2 i PVB-3 pomoću modela ravnoteže masa NETPATH ukazuje na veći udio voda iz karbonatnog vodonosnika tijekom niskih i srednjih voda na motrenim izvorima i zdencima, a tijekom visokih voda na veći udio voda iz aluvijalnog vodonosnika. Rezultati provedenih analiza hidroloških uvjeta na priljevnom području izvorišta za razdoblje 1965.-2009. god. upućuju na zaključak da smanjena izdašnost izvorišta ipak nije posljedica promjene u bilanci prirodnog hidrološkog ciklusa već isključivo dugogodišnje eksploatacije podzemne vode.

LITERATURA

[1] Magdalenić, A., Jurak, V., Kovačević, S. & Capar, A. (1976): Problemi zahvata podzemne vode u dolini Sunje. 7. jugoslavenski simpozij o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji – knjiga 1, Skopje, 223-234.

[2] Plummer, L.N., Preston, E.C. & Parhurst, D.L.(1994): An interactive code (NETPATH) for modelling net geochemical reactions along flow path. Version 2.0 USGS Water-Resources Investigation Report, 94-4169, Reston, Virginia

[3] Šimunić, A. & Hećimović, I. (1998): Geološka i hidrogeološka istraživanja bliže okolice „Pašinog vrela“ - područje Mečenčani-Borojevići-Komogovina. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

AUTORI

Dr.sc. Ozren Larva[1]
dr.sc. Tamara Marković[2]
Vinko Mraz[3], dipl.ing.

[1] Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, Zagreb, *olarva@hgi-cgs.hr*

[2] *tmarkovic@hgi-cgs.hr*

[3] *vmraz@hgi-cgs.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.49.

NITRATI U PODZEMNOJ VODI CRPILIŠTA VARAŽDIN

Tatjana Vlahović, Andrea Bačani

SAŽETAK: Crpilište Varaždin nalazi se zapadno od grada Varaždina. Sastoji se od 11 zdenaca, pomoću kojih se zahvaća voda iz šljunkovito-pjeskovitoga, kvartarnog vodonosnika ukupne debljine oko 65 m. Na dubini od oko 45 metara nalazi se slabopropusni, glinovito-prašinasti sloj, kojim je vodonosnik podijeljen u dva intervala. Neposredno zapadno od crpilišta Varaždin slabopropusni međusloj isklinjava. Zbog vrlo tankih krovinskih naslaga vodonosnik je iznimno ugrožen od onečišćenja s površine terena o čemu svjedoče i visoke koncentracije nitrata u podzemnoj vodi.

Porast sadržaja nitrata uzrokovan je crpljenjem, intenzivnom upotrebom umjetnih gnojiva u poljoprivredi, prisutnošću farmi pilića, ali i procijeđivanjem otpadnih voda naselja.

U plićem vodonosniku sadržaj nitrata je od 1976. godine do danas iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija u vodi za piće (NN 47/08) i kreće se uglavnom između 60 i 110 mg NO_3^-/l.

Zahvaćanje vode iz dubljeg vodonosnika započelo je 2002. godine. Od tada koncentracija nitrata postupno raste i 2006. godine prelazi dozvoljenih 50 mgNO_3^-/l. S obzirom da je smjer toka podzemne vode u svim hidrološkim uvjetima, od zapada prema istoku, razlog porasta sadržaja nitrata u dubljem vodonosniku tumači se činjenicom da slabopropusni međusloj neposredno zapadno od crpilišta Varaždin isklinjava.

KLJUČNE RIJEČI: Nitrati u podzemnoj vodi, crpilište Varaždin

SUMMARY: The Varaždin well field is situated west of the City of Varaždin. It consists of 11 wells which extract water from the gravel-sandy, Quaternary aquifer.

The aquifer has a total depth of some 65 meters. A low permeable clay-silty layer lies at a depth of 45 meters thereby dividing the aquifer into two intervals. The interlayer wedges out just west of the Varaždin pumping site. Due to the very thin overlying aquitard, the aquifer is exceptionally threatened by surface pollution, as seen by the high concentration of nitrates in ground water.

The gradual increase in nitrates concentrations has been recorded since 1976 and is associated with the increasing pumping rate, the intensive use of artificial fertilizers in agriculture, the presence of chicken farms and the filtration of municipal wastewaters.

In the shallow aquifer, the nitrate concentration always exceeds the maximum permitted concentration for potable water. Pumping from the lower aquifer started in 2002. From

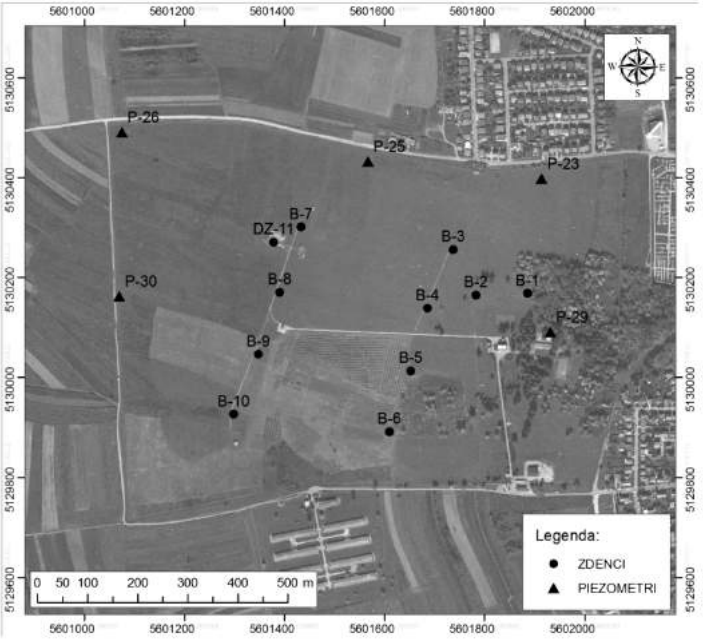
that time the nitrate concentrations are gradually rising, and now exceed the MPC values for potable water (50 mg NO_3/l). Considering the direction of the groundwater flow from west to east under all hydrological conditions, the increasing concentrations of nitrates in the deeper aquifer, is believed to be due to the fact that the low permeable interlayer west of the Varaždin pumping site is wedging out.

KEY WORDS: Nitrates in the groundwater, well field Varaždin

1. UVOD

Crpilište Varaždin nalazi se zapadno od grada Varaždina. Početak izgradnje ovog crpilišta datira još iz 1958. godine, kada je izveden kopani zdenac izdašnosti 30-40 l/s. Danas se crpilište sastoji od 11 zdenaca. Deset zdenaca, s oznakama B-1 do B-10, zahvaća plići vodonosnik, a zdenac DZ-11 zahvaća dublji vodonosnik. Maksimalna izdašnost pojedinog zdenca koji zahvaća plići vodonosnik je 0,05-0,12 m^3/s, a zdenca koji zahvaća dublji vodonosnik 0,05 m^3/s. Od 11 zdenaca danas je povremeno u eksploataciji samo zdenac DZ-11 koji zahvaća dublji vodonosnik. Razlog tome su nitrati čije koncentracije u podzemnoj vodi premašuju maksimalno dozvoljenu koncentraciju u vodi za piće od 50 mg NO_3/l (NN 47/08).

U cilju određivanja stanja kakvoće podzemne vode s obzirom na nitrate kao i trendova kretanja sadržaja nitrata analizirani su podaci o koncentracijama nitrata u razdoblju od 1976. do sredine 2010. godine. Analizom su obuhvaćeni zdenci B-1 do B-10 i DZ-11, te piezometri P-23, P-25, P-26, P-29, P-30 (sl. 1).



Slika 1. Situacija crpilišta Varaždin

2. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Podzemna voda se na crpilištu Varaždin zahvaća iz varaždinskog vodonosnika koji zauzima krajnji zapadni dio kvartarnoga vodonosnog sustava dravske doline. Varaždinski vodonosnik zauzima prostor od Međimurskih gorica na sjeveru do Ivančice i Kalnika na jugu, od državne granice sa Slovenijom na zapadu do Legrada na istoku. Rijeka Drava dijeli vodonosnik na sjeverni dio: *Međimurje* i južni dio: *Zapadnu Podravinu.*

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od šljunaka i pijesaka kvartarne starosti. Taloženje se tijekom kvartara odvija u močvarnoj sredini uz stalni donos fluvijalnog materijala (Urumović i dr., 1990). U donjem pleistocenu talože se šljunci kojih u većoj količini ima južno i jugoistočno od Ludbrega i sjeverno od Čakovca ili pijesci u izmjeni s glinama. U srednjem pleistocenu talože se šljunci, pijesci i gline, a ima i treseta. U gornjem pleistocenu prevladavaju šljunci. Tijekom holocena formiraju se aluvijalne taložine dravskih terasa.

Debljina varaždinskog vodonosnika je najmanja između Križovljana i Ormoža. Uz sjeverni rubni rasjed (kod Ormoškog mosta) debljina je 5 m, a prema jugu raste do preko 15 m uz južni rub. Prema istoku debljina postupno raste. Kod Svibovca (HE Varaždin) se kreće oko 30 m, kod Nedelišća oko 40 m, na području crpilišta Varaždin oko 65 m, jugoistočno od HE Čakovec iznosi 112 m, a južno od Preloga 150 m. Nizvodno od Svete Marije (HE Dubrava) debljina se smanjuje na 60 m, kod Legradskog praga iznosi 50 m, a uz sjeverni rub, tj kod današnjeg korita kod Legrada iznosi 14 m, a kod Đelekovca 12 m.

Vodonosni sustav čine dva vodonosna sloja koja su odijeljena slabopropusnim međuslojem praha, gline, prašinastog pijeska i mjestimice treseta koji dijeli vodonosnik u dva sloja. Očito se radi o značajnom diskontinuitetu uvjeta taloženja.

Prvi vodonosni sloj sastoji se od šljunkovito-pjeskovitih naslaga koje na području Varaždinskog crpilišta zaliježu do dubine 42 m. Prema zapadu sloj istanjuje a prema istoku zadebljava. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti prvog sloja kreće se od 100 do 300 m/dan.

Slabopropusni međusloj sastoji se od gline i praha u različitim omjerima, a debljine je do 5 m. Na području crpilišta Varaždin debljina mu je 4 m, a zapadno i jugozapadno od Varaždinskog crpilišta isklinjava. Hidraulička vodljivost određivana u edometru na uzorcima uzetim iz bušotina za potrebe HE Čakovec i HE Dubrava iznosi 10^{-4} do 10^{-6} m/dan.

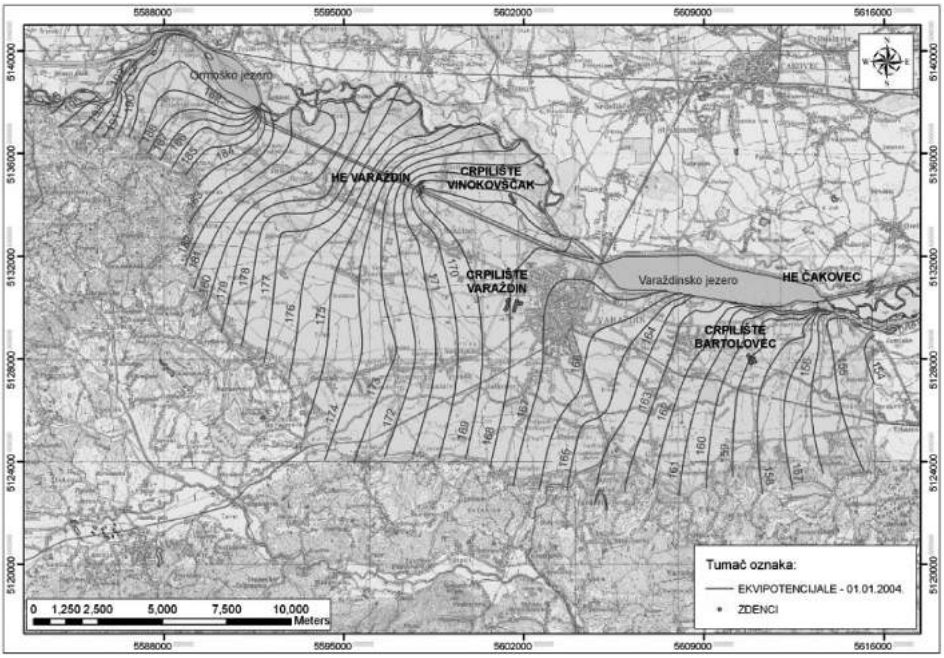
Drugi vodonosni sloj sastoji se od šljunaka i pijesaka s više sitnozrnatijeg materijala. Drugi se vodonosni sloj na području crpilišta Varaždin nalazi na dubini 46 do 64 m, a zapadno od crpilišta isklinjava. Hidraulička vodljivost drugog sloja na području crpilišta Varaždin je 90 m/dan.

Krovinu vodonosnog sustava čini humus i prašinasto-glinovito-pjeskovite naslage čija debljina se na području crpilišta Varaždin kreće od 0,0 do 1,6 m.

Podina vodonosnog sustava se sastoji od gline, praha i lapora. Hidraulička vodljivost na lokaciji HE Dubrava određivana na uzorcima u edometru iznosi 10^{-6} d0 10^{-7} m/dan.

Drava je usjekla korito u vlastiti nanos i u izravnoj je hidrauličkoj vezi s podzemnim vodama. Prirodni odnos rijeke i podzemne vode bitno je izmijenjen izgradnjom akumulacijskih jezera za potrebe hidroelektrana Varaždin, Čakovec i Dubrava. Akumulacijska jezera prihranjuju podzemne vode. Drugi izvor prihranjivanja sloja su oborine, čija prosječna količina iznosi preko 850 mm/god.

Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku (sl. 2).



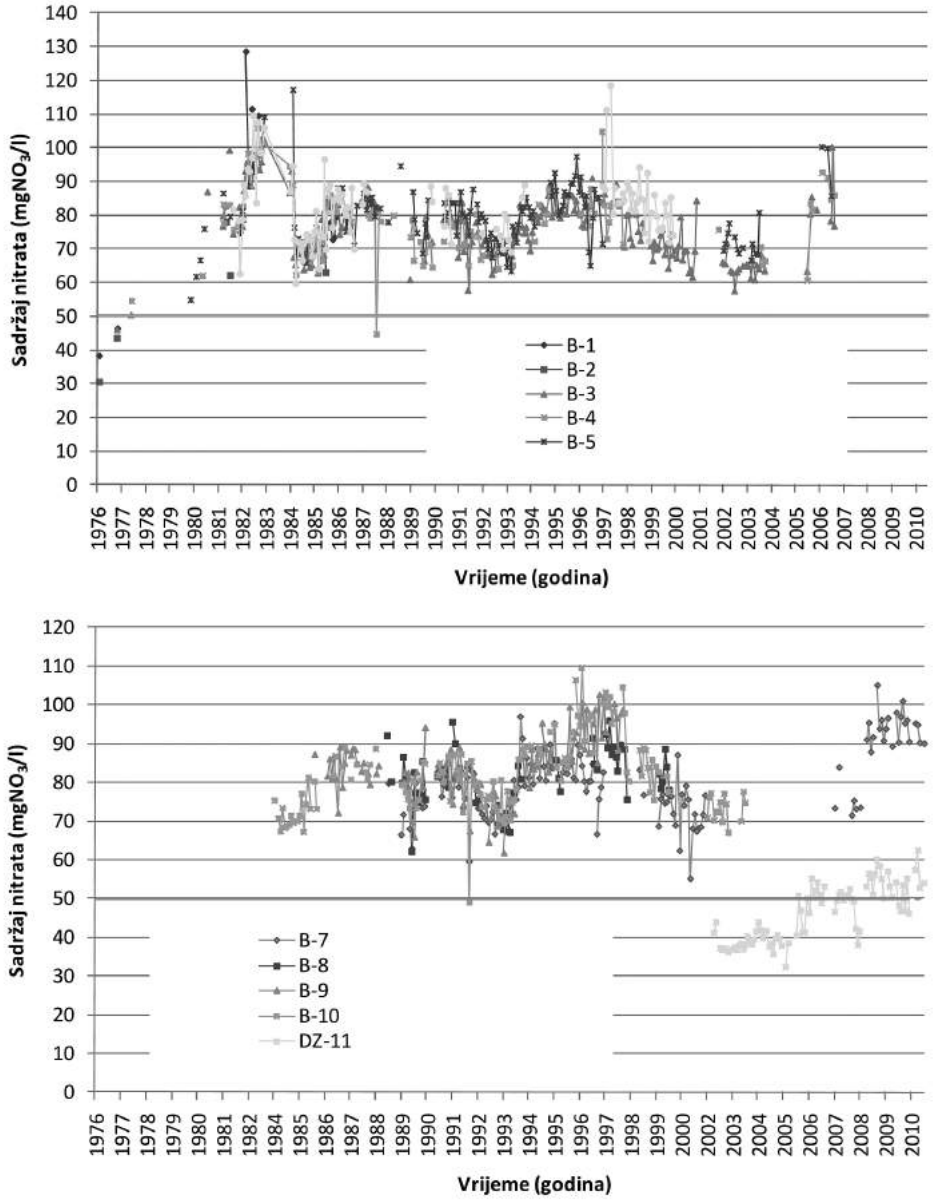
Slika 2. Razine podzemne vode dana 01.01.2004. (preuzeto iz Bačani & Posavec, 2008):

3. NITRATI U PODZEMNOJ VODI

Sadržaj nitrata u podzemnoj vodi na priljevnom području crpilišta Varaždin analiziran je u razdoblju od 1976. do sredine 2010. godine. Analizom su obuhvaćeni zdenci B-1 do B-10 i DZ-11, te piezometri P-23, P-25, P-26, P-29, P-30.

U plićem vodonosniku, sadržaj nitrata je u cijelom razdoblju promatranja iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK) za pitku vodu iako se trend mijenja u vremenu (sl. 3). Nagli porast sadržaja nitrata prisutan je na gotovo svim zdencima u razdoblju od 1976. do početka 1984. godine. U prvom dijelu 1984. godine koncentracije se vidljivo smanjuju, da bi od konca 1984. pa sve do 1988. godine ponovo rasle. Od 1988. do 1993. godine prisutan je ponovo silazni trend, a od 1993. do 1997. uzlazni trend. Nakon 1997. godine pa sve do 2006. godine, sadržaj nitrata se gotovo u svim zdencima u plitkom vodonosniku postupno smanjuje, a posljednjih godina ponovo raste. U cijelom razdoblju promatranja koncentracije nitrata su više u zdencima smještenim na zapadnom dijelu crpilišta.

U dubljem vodonosniku je prije početka rada zdenca DZ-11 sadržaj nitrata u podzemnoj vodi iznosio 30-40 mgNO_3^-/l, no od početka crpljenja 2002. godine pa sve do danas sadržaj nitrata postupno raste i od prve polovice 2006. godine je iznad MDK vrijednosti za pitku vodu (sl. 3).

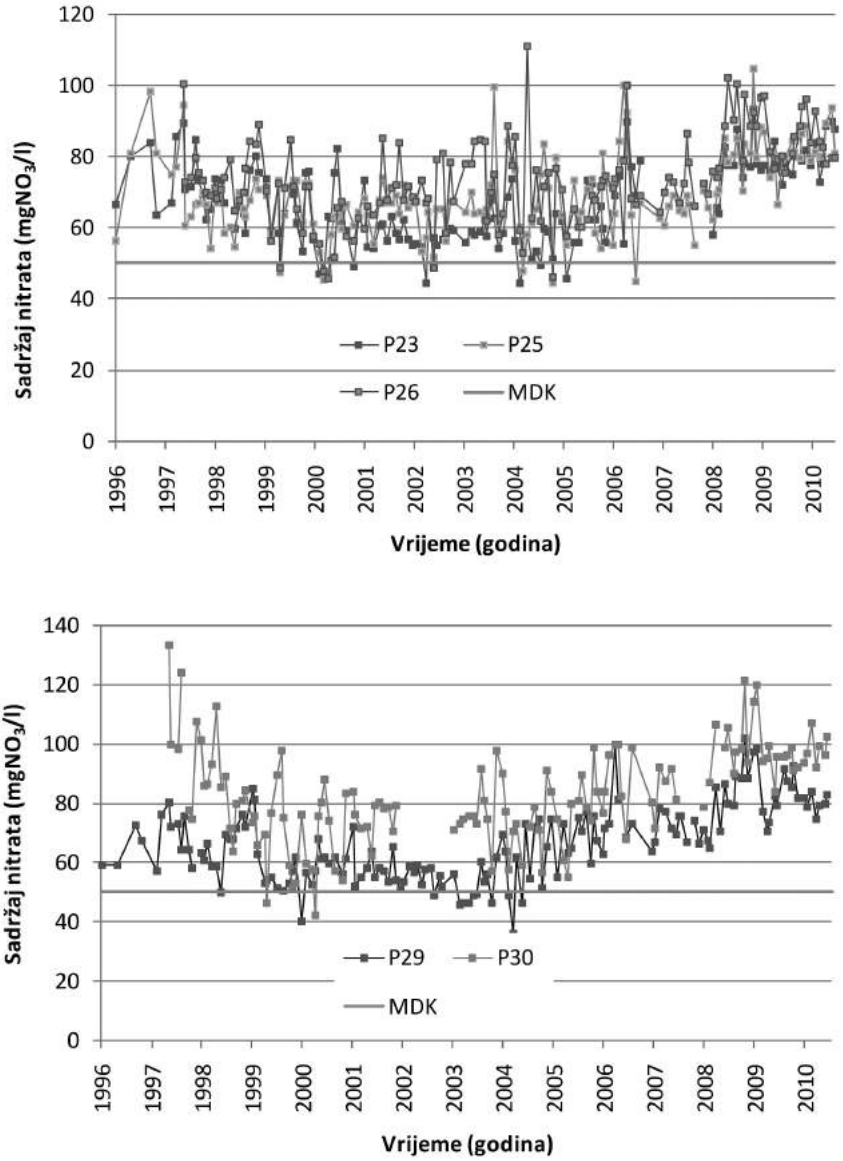


Slika 3. Sadržaj nitrata u podzemnoj vodi zdenaca

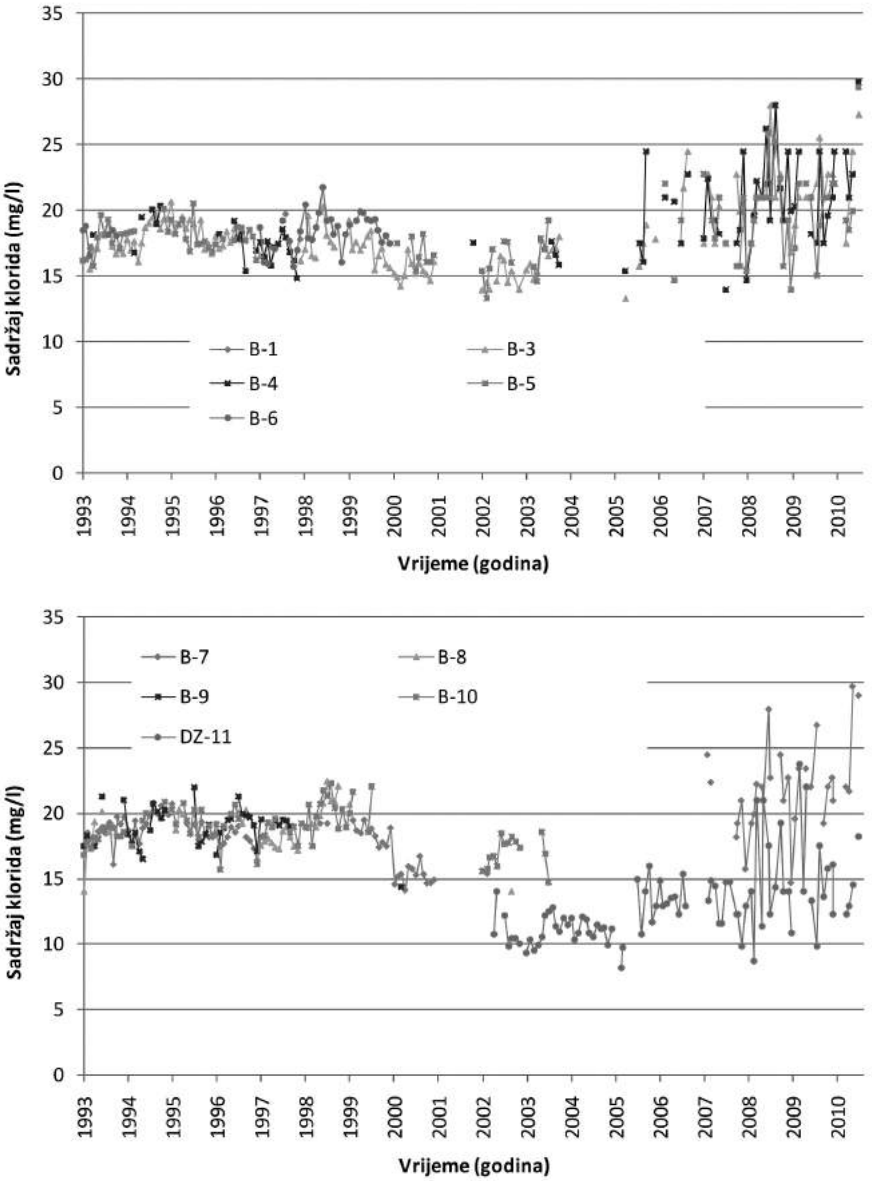
U piezometrima koji su otvoreni u plićem vodonosniku je u razdoblju od 1996. do sredine 2010. godine koncentracija nitrata u podzemnoj vodi iznad maksimalno dozvoljene koncentracije u vodi za piće (sl. 4). Najveća koncentracija nitrata u podzemnoj vodi utvrđena je u piezometru P30 uzvodno od zdenaca, što odgovara i zabilježenim koncentracijama nitrata u zdencima.

Usporedbom sadržaja nitrata u podzemnoj vodi s razinama podzemne vode, ne može se uočiti da je promjena sadržaja nitrata u funkciji promjene razine podzemne vode.

Visoki sadržaj nitrata u podzemnim vodama crpilišta Varaždin uzrokovan je korištenjem različitih kemijskih sredstava na okolnim poljoprivrednim i vrtnim površinama, kojima se pospješuje rast biljaka ili se biljke štite od nametnika, zatim odlaganjem pilećeg gnoja



Slika 4. Sadržaj nitrata u priljevnom području crpilišta



Slika 5. Sadržaj klorida u podzemnoj vodi zdenaca

na površinu iz okolnih farmi pilića kojih je u priljevnom području velik broj, a također dijelom se može povezati i s otpadnim vodama naselja. U prilog tome govori i sadržaj klorida koji je veći od 10 mgCl/l što odgovara prirodnim uvjetima (sl. 5). Naime, više vrijednosti sadržaja klorida u podzemnoj vodi mogu biti posljedica otpadnih voda iz domaćinstava, upotrebe mineralnih gnojiva (KCl u NPK smjesi) ili tehničke soli koja se koristi za soljenje prometnica (Appelo & Postma, 1994). Kako su spojevi klorida vrlo

topivi i njihovo zadržavanje u tlu je vrlo kratko, to već prve obilnije oborine ispiru sol iz tla u podzemlje. Zbog toga su više vrijednosti klorida uglavnom izmjerene u razdobljima viših vodostaja, dakle tijekom ispiranja nezasićene zone, a najveće varijacije sadržaja zapažene su u plićim dijelovima vodonosnika.

ZAKLJUČAK

Na crpilištu Varaždin je koncentracija nitrata u podzemnoj vodi plićeg vodonosnog sloja iznad maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za pitku vodu (50 mgNO_3/l) od 1976. godine.

Prije početka crpljenja dubljeg vodonosnika, koncentracija nitrata je bila ispod MDK. Nakon početka crpljenja 2002. godine, ona postupno raste i od 2006. godine je iznad MDK za pitku vodu.

Visoki sadržaj nitrata posljedica je antropogenog utjecaja. Naime, u priljevnom području crpilišta nalaze se poljoprivredne i vrtne površine na kojima se koriste različita kemijska sredstva, kojima se pospješuje rast biljaka ili se biljke štite od nametnika, a nalazi se i čitav niz peradarskih farmi koje odlažu u svojoj okolici velike količine peradarskog otpada (pileći gnoj), a manji dio nitrata se također može povezati i s procjednim otpadnim vodama naselja. Naime, uzvodno, odnosno zapadno od crpilišta Varaždin, kanalizacijska mreža je izvedena samo u naseljima Petrijanec, Majerje, Sračinec i Hraščica, dok se u ostalim naseljima koriste septičke jame, koje u većini slučajeva nisu atestirane na propusnost.

Do povećanja nitrata u podzemnoj vodi ne dolazi samo u vrijeme fertilizacije, nego tijekom cijele godine što također navodi na zaključak da nitrati nisu posljedica samo poljoprivredne djelatnosti. Tome u prilog govori i sadržaj klorida u podzemnoj vodi veći od 10 mgCl/l, što upućuje bilo na procjedne otpadne vode domaćinstava, bilo na kloride iz mineralnih gnojiva (KCl u NPK smjesi) ili iz tehničke soli koja se koristi za soljenje prometnica.

Razlog porasta sadržaja nitrata u dubljem vodonosnom sloju, tumači se činjenicom da slabopropusni glinovito-prašinasti međusloj neposredno zapadno od crpilišta Varaždin isklinjava što znači da prvi i drugi sloj čine jednu hidrauličku cjelinu.

Okvirna direktiva o vodama Europske unije 98/83/EC također propisuje gornju granicu sadržaja nitrata od 50 mgNO_3/l u vodi namijenjenoj za piće. S obzirom da se na crpilištu Varaždin koncentracija nitrata kreće između 80 i 100 mgNO_3/l, a prisutan je i pozitivan trend u posljednjem razdoblju može se zaključiti da varaždinski vodonosnik na području varaždinskog crpilišta ima "loš status kakvoće podzemne vode".

U cilju poboljšanja kakvoće podzemne vode neophodna je izgradnja sustava javne odvodnje, a na područjima gdje nema tehničke ni ekonomske opravdanosti za gradnju sustava javne odvodnje, sanitarne i tehnološke otpadne vode treba pročišćavati na vlastitom uređaju prije ispuštanja u podzemlje. Nadalje, mjere zaštite od poljoprivredne aktivnosti potrebno je provoditi u smislu educiranja poljoprivrednika o načinima primjene agrotehničkih sredstava na poljoprivrednim površinama, uz što manju primjenu pesticida i mineralnih gnojiva, a naročito perzistentnih tvari. Na peradarskim farmama nužno je riješiti zbrinjavanje otpada na način da se spriječi procjeđivanje u podzemlje.

LITERATURA

[1] Appelo, C.A.J. & Postma, D. (1994): *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, 536 pp., Rotterdam.

[2] Bačani, A & Posavec, K. (2008): *Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak*. Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zageb.

[3] Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D. (1990): *Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika.* Geol. vj., 43, 149-158, Zagreb.

AUTORI

Tatjana Vlahović [a]
Andrea Bačani [b]

[a] Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, 10000 Zagreb, Hrvatska, tatjana.vlahovic@hpm.hr

[b] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, andrea.bacani@rgn.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.50.

MONITORING RIJEČKIH IZVORA - RAZVOJ, PROMJENE, SAZNANJA I PROBLEMI

Diana Mance, Danijela Lenac, Tamara Hunjak, Zvjezdana Roller-Lutz, Josip Rubinić

SAŽETAK: Rezultati monitoringa količina i kakvoće vodnih resursa interesantni su s dva aspekta – na dugoročnoj vremenskoj skali u smislu uočavanja generalnih trendova mogućih promjena, te na kraćoj, unutragodišnjoj skali kao podloga za operativno korištenje i primjerenu zaštitu vodnih zaliha. U radu je utvrđeno da je na duljoj vremenskoj skali prisutan trend opadanja srednjih godišnjih protoka kojima Izvor Rječine i Zvir i prihranjuju tok Rječine. Mogući razlozi postojanja takvog trenda mogu biti promijenjene hidrološke prilike, kao i povećanje zahvaćenih količina voda. Među recentnim promjenama u vodnom režimu navedenih izvorišta za istaknuti je i prisutno povećanje učestalosti i intenziteta zamućenja izvorskih voda. Osim interesa za rezultatima tradicionalnih pokazatelja promjena količina i kakvoće voda, sve složeniji uvjeti na izvorištima zahtijevaju poznavanje i do sada manje korištenih pokazatelja dinamike i zadržavanja podzemnih voda u krškim vodonosnicima. U radu su prikazani prvi rezultati odnedavno pokrenutog projekta istraživanja prihranjivanja riječkih izvora pomoću stabilnih izotopa.

KLJUČNE RIJEČI: količina i kakvoća vode, krški izvori, stabilni izotopi

MONITORING OF THE SPRINGS IN RIJEKA TOWN AREA - DEVELOPMENT, CHANGES, FINDINGS AND ISSUES

SUMMARY: The results of monitoring the quantity and quality of water resources are interesting from two aspects: on a long-term time scale in terms of perception of the general trends of possible changes, and on the shorter time scale (within a year) as basis for operational use and adequate protection of water resources. The paper found that in a long run, there is a declining trend of a mean of annual flow rate with which Rječina Spring and Zvir I feed the Rječina river. Possible reasons for such a trend could be a change in hydrological conditions, as also an increased amount of water used for water supply. Among recent changes in the water regime of these springs it is important to accentuate the increasing incidence and intensity of turbidity of spring waters. Beside the interest in the results of traditional indicators of water quantity and quality changes, more complex conditions on the springs require the knowledge of, up till now, rarely used indicators of groundwater dynamics and retention in karst aquifers. The last part of the paper presents

the first results of the recently launched project of research of the Rijeka springs recharge using stable isotopes.

KEY WORDS: water quantity and quality, karst springs, stable isotopes

1. UVOD

Grad Rijeka i njezina okolica poznati su po mnogobrojnim krškim izvorima pitke vode. Oni pripadaju izvorima Jadranskoga sliva, a još se dijele na riječke izvore i izvore u Bakarskom zaljevu. Krški slivovi predstavljaju složen sustav izrazito osjetljiv na antropogena djelovanja i onečišćenja, a veliko područje prihranjivanja riječkih izvora (oko 400 km^2), koje uključuje visoke planine Gorskoga kotara, te se proteže i izvan granica Republike Hrvatske čini korištenje i upravljanje riječkim izvorima još zahtjevnijim zadatkom (Horvat i Rubinić, 2006).

Najvažniji riječki izvor, Izvor Rječine, nalazi se oko 18.3 km od ušća Rječine u more, na koti od 325 m n.m. što ga čini posebno pogodnim za korištenje u vodoopskrbi. To nije stalan izvor i do njegova presušivanja najčešće dolazi za vrijeme izrazitih ljetnih suša. Tada se u vodoopskrbu uključuju i izvori Zvir I i bunari u Martinšćici, kao i izvori bakarskoga područja Dobra, Dobrica i Perilo. Zvir I je najvažniji stalni riječki izvor. Smješten je u kanjonu rijeke Rječine, na koti od 5 m n.m., 1.7 km od mora. Izvorište Martinšćica čini šest bunara, od čega su bunari 1 i 6 su izvan uporabe - prvi zbog čestih bakterioloških onečišćenja, a drugi zbog čestog presušivanja. Prema koncesiji, odobreno maksimalno korištenje (kada ima dostanih količina vode) iznosi 2 m^3s^{-1} kod Izvora Rječine i na Zviru I, 0.45 m^3s^{-1} na rezervnom crpilištu Zvir II, 0.3 m^3s^{-1} za bunare u Martinšćici, te 0.45 m^3s^{-1} za izvore u Bakarskom zaljevu. Prema podacima iz razdoblja 2000.-2007., najviše se koriste vode Izvora Rječine (god. prosjek zahvaćenih količina 0.588 m^3s^{-1}), te izvora Zvir I (0.189 m^3s^{-1}), a puno manje vode bunara iz Martinšćice (0.047 m^3s^{-1}) i izvora u Bakarskom zaljevu (0.028 m^3s^{-1}). No, tijekom vršnih potreba za vodoopskrbom, a koje se uglavnom javljaju tijekom ljetnih sušnih mjeseci, iz spomenutih se zahvata (izuzev Izvora Rječine koji tada presušuje) koriste i višestruko veće količine voda. Te količine voda se u ekstremnim hidrološkim prilikama, kakva je bila primjerice 2003. godina, približavaju maksimalnim mogućnostima korištenja iz razloga što se uz smanjenje protoka na dijelu izvorišta javlja i zaslanjenje. Značajne su i situacije pojava iznimno visokih mutnoća na izvorima iz razloga što takve pojave prate povećanja kritičnih vrijednosti i više drugih parametara kakvoće.

Kako na prirodne uvjete otjecanja, a time i na kvalitetu pitke vode, utječe čitav niz čimbenika, to iziskuje stalan i kvalitetan monitoring koji je jedan od glavnih preduvjeta za optimalno korištenje izvora kao i osiguranje dostatnih količina kvalitetne i zdravstveno ispravne vode.

2. METODE PRIKUPLJANJA I MJERENJA UZORAKA, ANALIZA I DISKUSIJA PODATAKA MONITORINGA

Hidrološki monitoring, u smislu registracije razina vode na izvorištu i preljevnih količina voda, uspostavljen je od strane DHMZ-a na Izvoru Rječine još 1948. godine od kada se, s prekidima 1960.-1966. i 2001., kontinuirano provodi do danas. Problem je što tim

količinama voda nisu pridružene i zahvaćene količine voda za vodoopskrbu. Na izvoru Zvir I hidrološka motrenja, također u organizaciji DHMZ-a, provodila su se u razdoblju od 1979. do sredine 1991. Ta su praćenja uključivala kontinuirana mjerenja razine vode na izvoru, kao i praćenja ukupnih izdašnosti na način da su preljevnim količinama voda pridruživane i crpljene količine. Nakon duljega prekida, tijekom 2003. godine obnovljena su mjerenja, ali za sada samo u vidu kontinuiranog praćenja razine vode na izvoru s periodičkim vodomjerenjima preljevnih količina. Na svim ostalim izvorima uključenim u vodoopskrbni sustav riječkog vodovoda, provode se samo povremena interna praćenja razina vode. Opisana situacija, postojanja samo djelomičnog monitoringa, oneomogućava primjerenu interpretaciju dugoročnih i kratkoročnih procesa promjena na izvorima, a koja je važna za planiranje gospodarenja vodnim zalihama tih izvora i njihovim operativnim upravljanjem.

Redoviti monitoring izvora koji se koriste u vodoopskrbi riječkoga područja uključuje analizu niza fizikalnih, kemijskih i bakterioloških osobina koju provode KD Vodovod i kanalizacija Rijeka, Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Državni hidrometeorološki zavod i Laboratorij za stabilne izotope Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Uzorkvanje se obavlja direktno na izvorištu gdje postoji uteg pomoću kojega se uzima voda: mjerenje temperature vode i zraka provodi se *in situ*, dok se ostala mjerenja provode u laboratorijima opremljenim sofisticiranom aparaturom. Osim na samim izvorištima uzorci vode uzimaju se i u vodospremama, te na različitim točkama vodoopskrbne mreže, no ta uzorkovanja nisu predmet interesa ovoga rada.

Kako su obilne oborine glavni izvor vodnoga bogatstva riječkoga područja (Grbac Žiković i drugi, 2009), a imaju i izravan utjecaj na uvjete otjecanja, uz monitoring hidroloških prilika i kakvoće vode na izvorištima istovremeno se provodi i monitoring oborinskih značajki. U organizaciji KD-a Vodovod i kanalizacija Rijeka 2006. i 2007. godine postavljeno je desetak ombrografskih postaja pri čijem se rasporedu vodilo računa da čitavo područje odvodnje bude prostorno i visinski pokriveno. Laboratorij za Stabilne izotope SILab Rijeka 2008. godine uspostavio je i vlastitu mrežu kišomjera u riječkom zaleđu. Pri određivanju položaja postavljanja kišomjera nastojalo se što bolje prostorno i visinski pokriti područje prihranjivanja izvora u Republici Hrvatskoj. Mreža kišomjera se s vremenom progušćuje tako da je nekoliko novih kišomjera postavljeno i u toku 2010. Za razliku od ombrografa koje karakterizira izrazito visoka vremenska razlučivost, uzorci u kišomjerima za stabilne izotope prikupljaju se na mjesečnoj bazi, a češća uzorkovanja provode se samo u slučaju izrazito velikih oborina kada postoji opasnost od prelijevanja kišomjera.

Omjer zastupljenosti stabilnih izotopa u vodi ovisi o porijeklu i 'prošlosti' vode. Naime, svaka fizikalna promjena koju je 'doživijela' voda unosi promjene u njezin izotpni sastav. Poznavanjem tog sastava, odnosno omjera zastupljenosti stabilnih izotopa, mogu se dobiti informacije o porijeklu vode i procesima koje je prošla voda u hidrološkom ciklusu prije nego li je pala na tlo kao oborina ili izašla iz podzemlja kao izvorska voda (Clark i Fritz, 1997).

Omjer stabilnih izotopa vodika i kisika u vodi s izvorišta i u kišnici određuje se u Laboratoriju za stabilne izotope Medicinskog fakulteta (SILab Rijeka). Za određivanje omjera zastupljenosti stabilnih izotopa koristi se maseni spektrometar izotopnih omjera (IRMS) Delta Plus XP u kombinaciji s dual inletom i ekvilibratorskom jedinicom. Mjerenjem

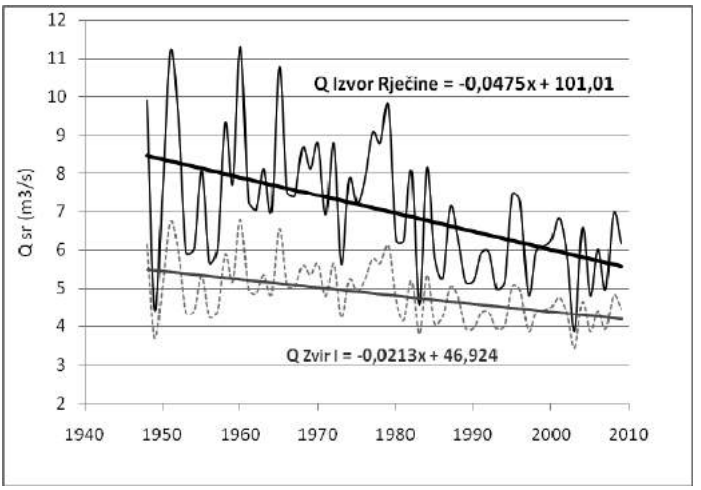
IRMS-om dobiva se omjer zastupljenosti težeg i lakšeg izotopa u uzorku R_{uzorak} ($^{2}H/^{1}H$ i $^{18}O/^{16}O$), a konačni rezultat se izražava pomoću δ-vrijednosti:

$$\delta=(R_{uzorak}/R_{standard}-1)\cdot 1000‰ \quad (1)$$

gdje je $R_{standard}$ izotopni omjer odgovarajućeg međunarodnog standarda (u slučaju vode to je VSMOW). Preciznost mjerenja je bolja od 1 ‰ za vodik, te bolja od 0.1 ‰ za kisik. Podatci o uzorcima, analize mjerenja, kao i rezultati mjerenja pohranjuju se u LIMS (Laboratory Information Management System) bazi podataka.

2.1 Osnovne značajke voda glavnih riječkih izvora

Ukoliko se analizira hod srednjih godišnjih preljevnih protoka Izvora Rječine i Zvira I (Slika 1, podatci su kompletirani regresijskom analizom podataka dobivenih od postaja u slivu Rječine koje su radile u to vrijeme), može se utvrditi postojanje izrazitog trenda njihova opadanja. Kod izvora Zvir I to opadanje iznosi cca 21.3 (l/s)/god, a kod Izvora Rječine je dvostruko veće: 47.5 (l/s)/god. Iako na analizirani hod godišnjih vrijednosti izvjestan utjecaj imaju i zahvati vode za vodoopskrbu, zbog međuodnosa vrijednosti dobivenih trendova i količina zahvaćenih voda očito je da je prisutan generalni trend smanjenja raspoloživih vodnih zaliha na spomenutim izvorima, a što njegovim nastavkom nosi i nove upravljačke probleme osiguranja dostatnih količina voda primjerene kakvoće za vodoopskrbu.

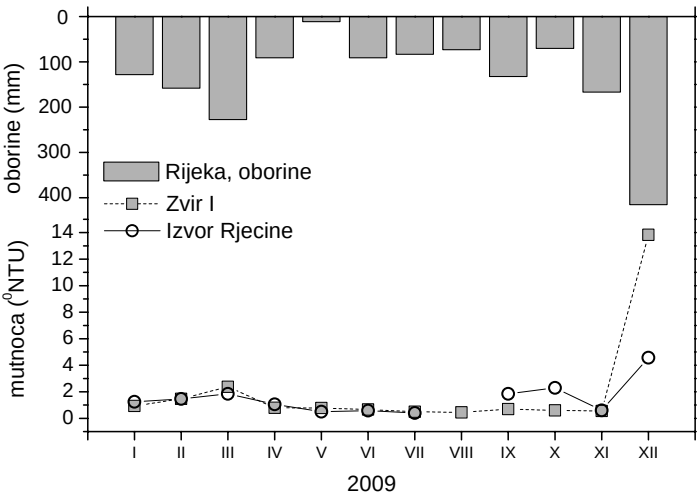


Slika 1. Hod godišnjih vrijednosti srednjih mjesečnih preljevnih protoka Izvora Rječine i Zvira I

Vode svih izdašnijih izvora u Kvarnerskom zaljevu su kalcijsko-hidrogenakarbonatnog tipa vrlo dobre kakvoće. Do smanjenja kakvoće vode može doći u prilikama koje se javljaju kada nakon dužih sušnih razdoblja nastupi razdoblje jakih kiša što dovodi do pojave zamućenja vode, odnosno do vrijednosti mutnoće koja prelazi 4 NTU. Na Slici 2 prikazana je usporedba ukupne mjesečne količine oborina u gradu Rijeci s prosječnom

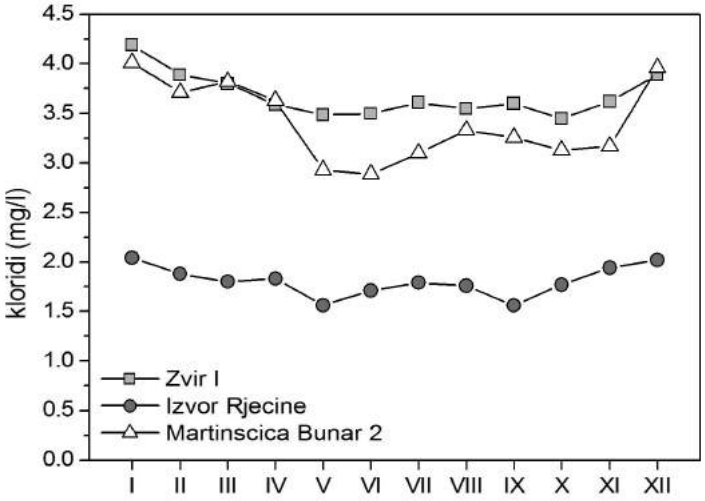
mjesečnom mutnoćom Zvira I i Izvora Rječine u 2009-toj godini. Na slikama se posebno ističe prosinac kada su velike količine oborina uzrokovale pojavu zamućenja na oba izvora, pri čemu je zamućenje intenzivnije na Zviru I.

Prosječna vrijednost tvrdoće vode Zvira I i Izvora Rječine u periodu od 2004.-2009. iznose oko 8 ^{0}dH čime se te vode svrstavaju u srednje tvrdu vodu. Srednja vrijednost temperature vode Zvira I iznosi približno 9.3 ^{0}C, a za vodu Izvora Rječine oko 7.6 ^{0}C, s minimalnim odstupanjima. Konstantnost temperature vode ukazuje na velike zalihe vode u podzemlju i na dobro miješanje vode koja prihranjuje izvorišta s vodom koja se već nalazi u podzemlju.



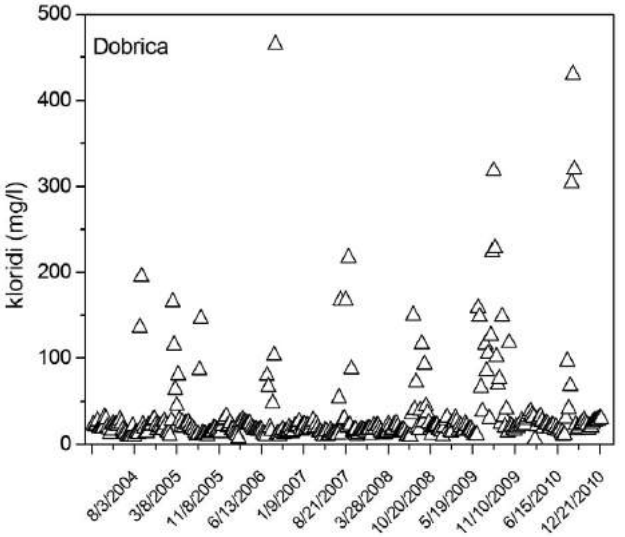
Slika 2. Usporedba mjesečne količine oborina u Rijeci i prosječne mjesečne mutnoće vode Zvira I i Izvora Rječine u 2009-toj godini.

Sadržaj klorida u vodi riječkih izvora uglavnom je vrlo nizak: maksimalna vrijednost klorida u vremenskom razdoblju od 2004. do 2010. za Izvor Rječine iznosi 4 mg/l, za Zvir I 6.5 mg/l, dok najveća vrijednost klorida u Martinšćici u Bunaru 2 u tom razdoblju iznosi 7.9 mg/l. Prosječne mjesečne vrijednosti klorida istih izvora za razdoblje 2004.-2010. ne pokazuju izražene sezonske oscilacije što je vidljivo na Slici 3. Za razliku od riječkih izvora, izvori u Bakarskom zaljevu izloženi su utjecaju mora što se očituje u povećanoj razini klorida i povremenim zaslanjenjima u ljetnim mjesecima (Slika 4).

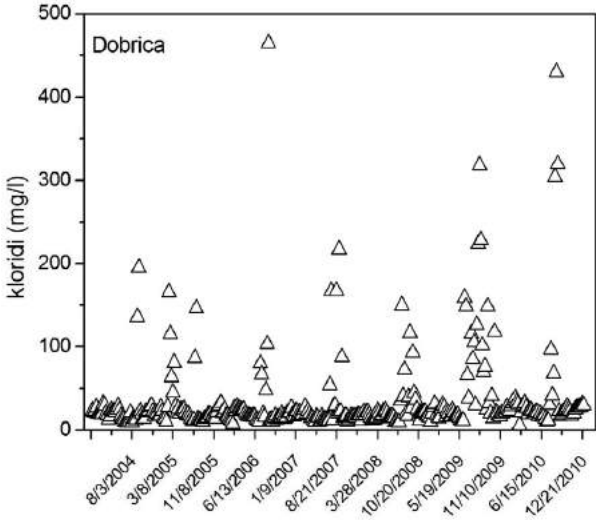


Slika 3. Prosječne mjesečne vrijednosti klorida riječkih izvora 2004-2010

Električna vodljivost vode Zvira I i Izvora Rječine pokazuje sezonske oscilacije što se može vidjeti na Slici 5 na kojoj su prikazane srednje mjesečne vrijednosti elektrovodljivosti u razdoblju od 2004. do 2008. godine. Izvorska voda Zvira I i Izvora Rječine pokazuje vrlo slično ponašanje koje se može aproksimirati sinusoidom s minimumom u proljetnim mjesecima i maksimumom u jesenskim mjesecima. Spomenuti minimumi i maksimumi sezonski se poklapaju s maksimumima protoka Zvira I i Izvora Rječine.



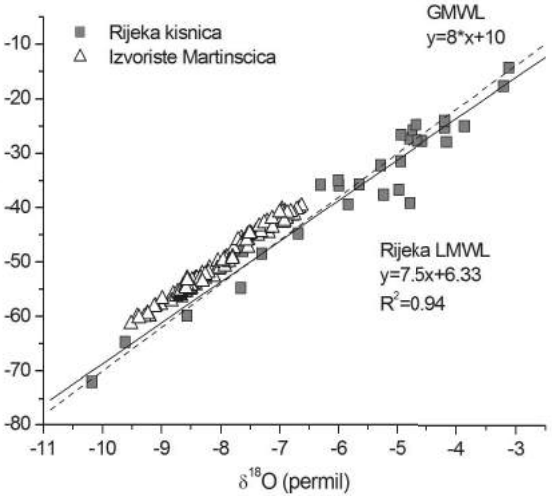
Slika 4. Vrijednost klorida za izvor Dobrica u Bakarskom zaljevu 2004-2010



Slika 5. Unutargodišnja raspodjela prosječnih mjesečnih vrijednosti el.vodljivosti za Zvir I i Izvor Rječine (2004-2008)

2.2 Stabilni izotopi vode riječkih izvora - prvi rezultati

Kao što je već spomenuto, SILab Rijeka je pokrenuo vlastitu mrežu kišomjera za skupljanje oborina. Od travnja 2010. u suradnji s KD Vodovod i kanalizacija Rijeka, pokrenuto je i redovito (tjedno) uzorkovanje na izvorima pod koncesijom tog komunalnog društva. Izotopni sastav voda Kvarnerskog područja spomenut je u nekoliko radova (Her-



Slika 6. Prvi rezultati izotopnih mjerenja vode s izvorišta Martinšćica (svi bunari osim bunara 6) i LMWL za Rijeku

telendi i drugi, 1997, Biondić, 2002, Vreča i drugi, 2006), ali koliko je autorima poznato, gore opisani monitoring predstavlja prvo sustavno praćenje izotopnih značajki oborina i podzemnih voda spomenutog kraja.

Na Slici 6 prikazana je linearna ovisnost δ^2H o vrijednosti $\delta^{18}O$ za bunare u Martinšćici u razdoblju od travnja do listopada 2010. (tjedne vrijednosti) i za kišnicu za razdoblje od travnja 2008. do listopada 2010. (mjesečne vrijednosti). Kišnica je skupljana u centru Rijeke, na nadmorskoj visini od 28 metara. Na globalnoj razini ovisnost tih vrijednosti u kišnici se izražava pomoću Global Meteoric Water Line-a (GMWL, na Slici 6 prikazana isprekidanom linijom) $\delta^2H=8\cdot\delta^{18}O+10$ (Craig, 1961), dok na lokalnoj razini imamo definiranu Local Meteoric Water Line (LMWL). U našem slučaju LMWL glasi: $\delta^2H=7.5\cdot\delta^{18}O+6.33$ (na Slici 6 prikazana punom linijom). Na Slici 6 možemo vidjeti da se podatci za bunare u Martinšćici nalaze vrlo blizu LMWL ali pomaknuti prema negativnijim vrijednostima u odnosu na δ-vrijednosti kišnice. Takva situacija je najvjerojatnije posljedica toga što se izvor prihranjuje uglavnom zimskim oborinama s veće nadmorske visine od one na kojoj je skupljana kišnica pomoću koje je dobivena prikazana LMWL.

Ukoliko se utvrde sezonske oscilacije $\delta^{18}O$ podzemne vode, iz razlike amplituda vrijednosti $\delta^{18}O$ kišnice i podzemne vode može se odrediti srednje vrijeme zadržavanja vode u podzemlju. Za sada postoje naznake o prisutnosti sezonskih oscilacija izotopnog signala u vodama riječkih izvora, no o njima je još preuranjeno govoriti budući da u vrijeme pisanja članka još nije bila zaokružena čitava hidrološka godina uzorkovanja.

ZAKLJUČAK

Analizirani primjer izvorišta voda riječkog vodovoda pokazao je da monitoring krških izvorišta vode s vremenom postaje sve važniji i kompleksniji jer se tijekom vremena mijenjaju i značajke prirodnog režima otjecanja i kakvoća voda. Na duljoj vremenskoj skali uočen je izraziti trend opadanja protoka, a na kraćoj, unutargodišnjoj skali praćenja uočavaju se sezonske oscilacije karakterističnih parametara kakvoće koji se mijenjaju s dinamikom istjecanja voda. U cilju osiguranja dodatnih saznanja o dinamici istjecanja/zadržavanja podzemnih voda u krškom vodonosniku, od travnja 2010. g. započeta su praćenja stabilnih izotopa u izvorskim vodama i u kišnici koja se skuplja na više lokacija na širem slivnom području. Iako se radi o vrlo kratkom razdoblju opažanja, preliminarni rezultati pokazuju da se analizirana izvorišta uglavnom prihranjuju zimskim oborinama palim na višim nadmorskim visinama.

ZAHVALA: *Autori se zahvaljuju emeritusu prof.dr.sc. H.O. Lutzu na mnogobrojnim savjetima kao i velikoj i nesebičnoj pomoći u radu Laboratorija za stabilne izotope SILab Rijeka. Veliko hvala i Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim hidrološkim podatcima.*

LITERATURA

[1] Biondić, B., Prestor, J., Biondić, R., Lapanje, A., Kapelj, S., Janža, M., Rikanović, R., Urbanc, J., Singer, D., (2002): *Obmejni vodonosniki med Slovenijo in Hrvaško – Območje med Kvarnerskim in Tržaškim zalivom,* Geologija, 311-318

[2] Clark, I., Fritz, P., (1997): *Environmental Isotopes in Hydrogeology,* CRC Press, 492

[3] Craig, H., (1961): *Isotopic variations in meteoric waters,* Science, 1702-1703

[4] Grbac Žiković, R., Orešić, D., Čanjevac, I., (2009): *Suvremena vodoopskrba riječkog područja,* Geoadria, 201-220

[5] Hertelendi, E., Svingor, E., Futo, I., Szanto, Z., Rank, D., (1997): *Isotope Investigation of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area,* Rapid Communications in Mass Spectrometry, 651-655

[6] Horvat, B., Rubinić, J., (2006): *Annual runoff estimation – an example of karstic aquifers int he transboundary region of Croatia and Slovenia,* Hydrological Sciences Journal, 51

[7] Vreča, P., Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N., Barešić, J., (2006): *Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations,* Journal of. Hydrology, 457-469

AUTORI

Diana Mance, prof. [a]

Mr. sc. Danijela Lenac [b]

Tamara Hunjak [a], prof.

Prof. dr. sc. Zvjezdana Roller-Lutz [a]

Mr. sc. Josip Rubinić [c]

[a] SILab Rijeka, Zavod za fiziku, Medicinski faklutet, Braće Branchetta 20, Rijeka, 51000, Hrvatska, dmance@medri.hr, thunjak@medri.hr, roller@medri.hr

[b] KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka, Vodovodna bb, Rijeka, 51000, Hrvatska, danijela.lenac@kdvik-rijeka.hr

[c] Zavod za hidrotehniku i geotehniku, Građevinski fakultet, Viktora Cara Emina 5, Rijeka, 51000, Hrvatska, jrubinic@gradri.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.51.

POJAVE ZAMUĆENJA GLAVNIH RIJEČKIH IZVORIŠTA TIJEKOM 2008. I 2009. GODINE

Danijela Lenac, Darija Vukić Lušić,
Dušanka Ćuzela- Bilać, Vladimir Mićović

SAŽETAK: KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka za vodoopskrbu grada Rijeke i šire okolice koristi šest izvorišta: Izvor Rječine, Zvir I, Martinšćica, Perilo, Dobra, Dobrica.

Najvažniji izvori su Izvor Rječine i Zvir I. Izvor Rječine u ljetnim a ponekada i zimskim mjesecima presušuje pa okosnica vodoopskrbe postaje izvor Zvir I.

Zbog specifičnih hidrogeoloških značajki krških vodonosnika, krški su izvori u određenim hidrološkim prilikama posebno osjetljivi na onečišćenja. Za vrijeme jakih kiša, a nakon dužih sušnih perioda, moguća su onečišćenja ovih, inače vrlo čistih i bistrih podzemnih voda. Pri tome se kakvoća vode pogoršava, a najosjetljiviji parametri su mutnoća i mikrobiološko onečišćenje.

U radu je iznijet prikaz i analiza pojava zamućenja izvora Rječine i Zvira 1 u dva navrata, u kasnu jesen 2008. i 2009. g. kada je došlo do istovremenog zamućenja vode svih izvorišta koji su u funkciji vodoopskrbe Rijeke i ostalih jedinica lokalne samouprave. Analizom podataka uočeno je da se prilikom jakih oborina zamućenje vode javlja sve češće i u sve većem broju izvora. Stručnjaci to pripisuju uglavnom klimatskim promjenama, u kojima oborine postaju sve intenzivnije i koncentriranije na jednom području dok se trajanje zamućenja, koje je duže u odnosu na prethodne godine, povezuje s povećanjem opterećenja sliva.

KLJUČNE RIJEČI: vodovod Rijeka, krš, mutnoća, oborine, mikrobiološki parametri

OCCURRENCE OF TURBIDITY IN MAIN WATER SOURCES OF RIJEKA DURING THE YEARS 2008 AND 2009

SUMMARY: Six sources of potable water are used by Rijeka Water and Sewerage Company Ltd for the supply of the City of Rijeka and its' surroundings: Source of Rječina River, Zvir I, Martinšćica, Perilo, Dobra and Dobrica. Most important sources are Source of Rječina River and Zvir I. Source of Rječina River dries up during summer and sometimes even winter months, so main supply of potable water becomes Zvir I. Due to specific hydro-geological features of karst aquifers, karst sources are particularly susceptible to pollution in peculiar hydrological circumstances. During heavy rainfalls, and after long

dry periods, pollution of these, usually clean and clear sources, are possible. Thereafter, the quality of potable water is growing worse with most sensitive parameters – turbidity and microbiological contamination. This paper presents the review and analysis of occurrence of turbidity of Rijeka's main water sources, Source of Rječina River and Zvir I respectively, during the late fall of 2008 and late fall of 2009 when simultaneous turbidity of all water supply sources important for water supply of city of Rijeka and other local authority occurred.

Analysis of data showed that during heavy rainfalls, water sources blur more frequently and in greater number. More experts attribute it to the recent climate changes when rainfalls become more intensive and more concentrated in one certain area while duration of turbidity, longer than in previous years, is mostly related to the increase of basin load.

KEYWORDS: Rijeka's water supply, karst, turbidity, precipitation, microbiological parameters

1. UVOD

Komunalno društvo Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka opskrbljuje pitkom vodom oko 195 000 stanovnika gradova Rijeke, Bakra, Kastva i Kraljevice te općina Čavle, Jelenje, Klana, Kostrena i Viškovo uključujući isporuku vode drugim komunalnim poduzećima (KTD Vodovod Žrnovnica – Novi Vinodolski, Komunalac d.o.o. Opatija i Ponikve d.o.o. Krk). Tijekom ljeta, zbog priljeva, broj potrošača dosiže i preko 300 000. Postotak priključenosti stanovništva na vodoopskrbni sustav je visok, preko 99 %, što je znatno iznad prosjeka u Republici Hrvatskoj (~ 80 %).

Za potrebe javne vodoopskrbe Rijeke i riječkog prstena voda se zahvaća sa šest izvorišta: Izvor Rječine, Zvir I, Martinšćica, Perilo, Dobra, Dobrica. Sva su izvorišta, izuzev Rječine, priobalna i gotovo na razini mora.

Kapitalni vodni resursi vodoopskrbnog sustava čine Izvor Rječine i Zvir I.

Izvor Rječine

Izvor Rječine maksimalne izdašnosti do 2000 l/s zasigurno je jedan od najvećih izvora sliva. Glavnina podzemnih voda prikuplja se u planinskom zaleđu sjeverno i sjeveroistočno od Izvora i toka Rječine, kao i Grobničkog polja. Voda se pojavljuje ispod okomite vapnenačke stijene na koti 325 m n.m. Istjecanje je direktno vezano za planinski masiv bez većih naselja i drugih sadržaja, koji mogu negativno djelovati na kvalitetu vode.

Izvor Rječine preljevni je izvor cijelog sliva koji povremeno gubi vezu sa stalno aktivnim krškim vodonosnicima. Za vrijeme sušnih razdoblja (posebice ljeti) izvor presušuje 2-3 mjeseca. U razdoblju od 1945. – 2005. g. uočen je trend porasta dana presušivanja prelјeva Izvora Rječine (Rubinić i Sarić, 2005). Prosječni broj dana bez vode u tom razdoblju bio je 42, varirajući od 0 do 157.

Zvir I

U periodima kada izvor Rječine smanji izdašnost ili presuši (2-3 mjeseca) aktiviraju se crpilišta u priobalju, a okosnica vodoopskrbe riječkog područja tada postaje izvor Zvir

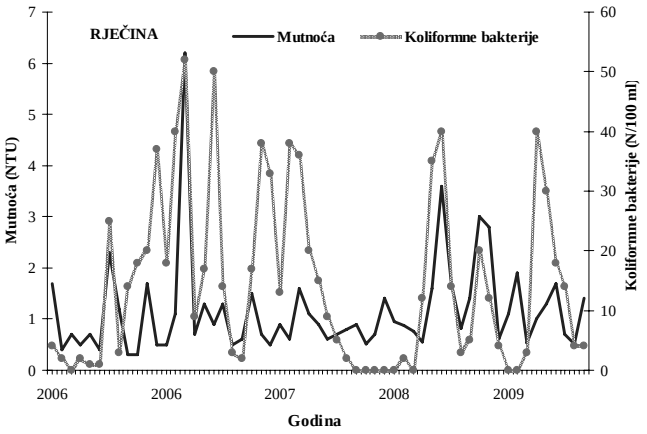
I, najveći stalni krški izvor Kvarnerskog zaljeva maksimalne izdašnosti 2000 l/s. Ovaj izvor se opskrbljuje vodom s područja Grobničkog polja i Gomanca, budući da nikada ne presušuje, smatra se osnovnim vodnim resursom slivnog područja izvora grada Rijeke. Nedostatak u odnosu na Izvor Rječine je što se za potrebe vodoopskrbe voda mora crpiti na više kote.

Svi kaptirani izvori na području grada Rijeke spadaju u krške izvore, što ih u određenim hidrološkim prilikama čini posebno osjetljivim na moguća onečišćenja.

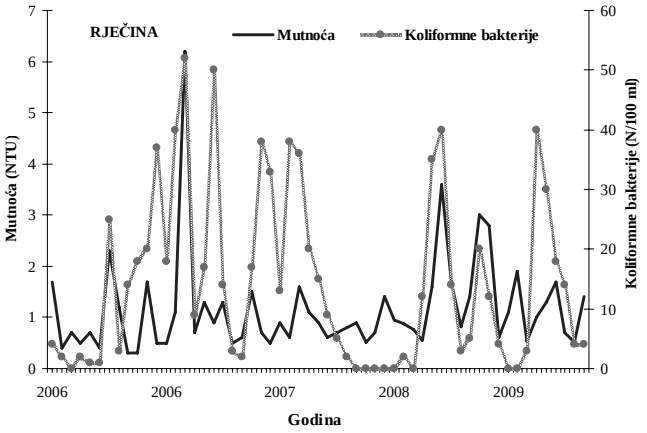
Krški teren karakterističan je po slabo razvijenom nadzemnoj a bogatoj podzemnoj krškoj hidrografiji te stoga podzemne vode predstavljaju glavni resurs vode za piće ovog područja (~ 90 %). Zbog specifičnih hidrogeoloških značajki krških vodonosnika cirkulacija vode u podzemlju je vrlo brza, zadržavanje vode je kratko, čime je smanjena sposobnost samopročišćavanja (Zavod za razvoj, prostorno planiranje i zaštitu čovjekova okoliša, 1995).

Vodopropusnost krške vodonosne sredine povećava mogućnost zagađivanja podzemnih voda koje se javlja kao posljedica urbanizacije prostora i raznih ljudskih djelatnosti u slivu. U slivnim područjima ovih izvorišta nema većih industrijskih pogona niti je slivno područje područje s intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom. Najveći i najčešći uzrok onečišćenja podzemnih voda su otpadne vode zbog, uglavnom propusnih septičkih jama, koje uzrokuju mikrobiološko onečišćenje, te prometnice koje mogu biti uzrok onečišćenja mineralnim uljima.

Zbog toga su u periodu jakih kiša, uslijed neposrednog kontakta između sliva i izvora, moguća zamućenja izvorišta uz kratkotrajno povećano bakteriološko onečišćenje (Slike 1. i 2.).



Slika 1. Kretanje mutnoće i koliformnih bakterija u izvoru Zvir u razdoblju razoblju 2006.-2009. g. (podaci NZZJZ)



Slika 2. Kretanje mutnoće i koliformnih bakterija u izvoru Rječine u razoblju 2006.-2009. g (podaci NZZJZ)

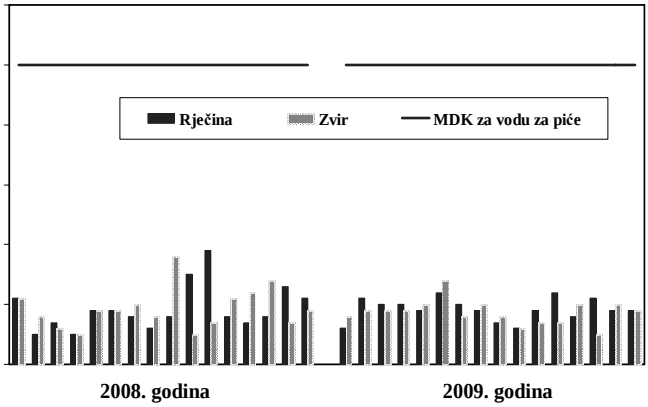
Mutnoću vode čine suspendirane tvari kao što su glina, ilovača, raspadnute organske tvari, anorganske tvari, planktoni i drugi mikroskopski organizmi. Povećana mutnoća, osim što je estetski nedostatak vode za piće, u osnovi ne predstavlja zdravstveno neispravnu vodu ali može značiti određeni zdravstveni rizik. Čestice koje čine mutnoću mogu pružati hranu i podlogu za rast za mikroorganizme, pri čemu se smanjuje efikasnost dezinfekcije što je zapravo potencijalno opasna situacija i osnova za pokretanje svih radnji predviđenih Operativnim programima isporučitelja vodne usluge. Pojava mutnoće iznad 4 NTU po našim se pravilima smatra nesukladnim proizvodom koji se mora ili povući ili ga moraju pratiti druge mjere predostrožnosti, mada sama po sebi ne nosi i rizik za zdravlje ljudi.

Cilj ovog rada bio je prikaz i analiza pojava zamućenja glavnih riječkih izvorišta Rječine i Zvira 1 tijekom 2008. i 2009. godine kao i analiza mogućih uzroka povećane frekvencije i trajanja ovih pojava.

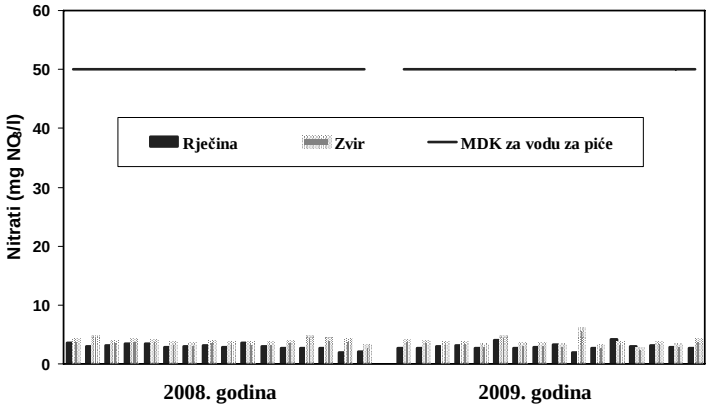
2. ANALIZA POJAVA ZAMUĆENJA

2.1. Osobine vode

Vode Rječine i Zvira vrlo su sličnih osobina. To su vode povoljnih fizikalno-kemijskih osobina, temperature od 7-11 °C, blago alkalnog pH od 7,6-8,2. Po tvrdoći spadaju u umjereno tvrde vode (8-11 °nj), nisu agresivne niti korozivne. Glavnu mineralnu komponentu čine hidrogenkarbonati kalcija i magnezija (prevladava kalcij). Sadržaj organske tvari izražene kroz $KMnO_4$ kao i hranjivih soli je nizak što upućuje na vrlo čiste vode (Slike 3. i 4.).



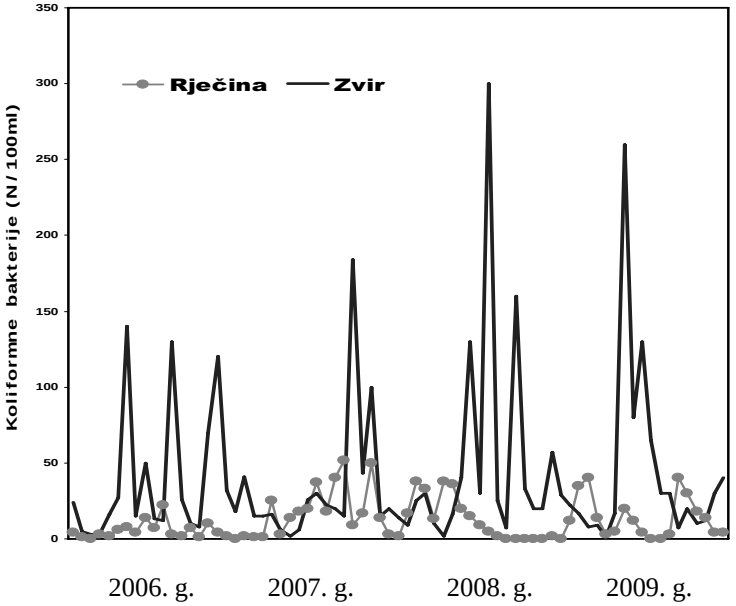
Slika 3. Organska tvar u Rječini i Zviru u razdoblju 2008 -2009. g. (podaci NZZJZ)



Slika 4. Nitrati u Rječini i Zviru u razdoblju 2008.-2009. g. (podaci NZZJZ)

Ispitivanjem metala dobivene koncentracije su vrlo niske ili se kreću ispod granice detekcije primjenjene analitičke metode i ne ukazuju na opterećenje metalima. Anionski detergenti, fenoli i mineralna ulja u svim su izvorima prisutni u niskim koncentracijama. Organoklorni i organofosofrni pesticidi kao i lakohlapivi ugljikovodici nisu dokazani niti u jednom navratu.

Bakteriološke osobine izvora Rječine su povoljne: u vrijeme sušnog razdoblja voda je čista a samo u vrijeme jakih kiša javlja se bakteriološko onečišćenje. Voda izvora Zvir konstantno je bakteriološki onečišćena, a za vrijeme jačih kiša onečišćenje može biti i visoko (Slika 5.). Sliv Rječine je čisto područje planinskih masiva Gorskog Kotara dok se Zvir prihranjuje vodama s područja Grobničkog polja s naseljima bez izgrađene kanalizacijske mreže.



Slika 5. Koliformne bakterije u Rječini i Zviru u razdoblju 2006. - 2009. g. (podaci NZZJZ)

U razdoblju 2006.-2009. od ukupno pregledana 73 uzorka izvora Rječine kod 11 uzoraka nije dokazano prisusutvo koliformnih bakterija a maksimalni broj iznosio je 52. Kod izvora Zvir svi su uzorci bili pozitivni na koliformne bakterije a maksimalnim brojem 300 (podaci NZZJZ).

2.1. Analiza zamućenja izvorišta u 2008. i 2009. godini

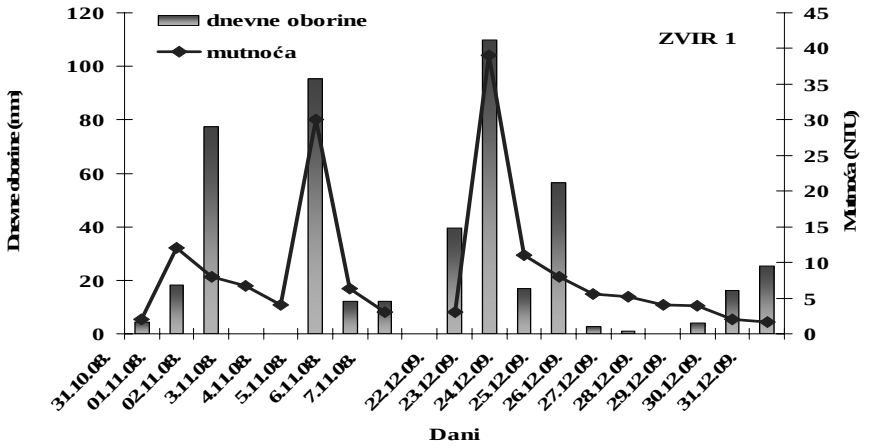
U periodu zamućenja izvorišta u studenom 2008. g. za vodoopskrbu grada Rijeke koristio se izvor Zvir I. Zbog suše i radova na rekonstrukciji cjevovoda od izvora Rječine do naselja Zoretići, izvor Rječine nije bio u uporabi od srpnja te godine.

Dana 31. listopada 2008. g. uočen je porast mutnoće izvorišta Zvir 1 (2 NTU) koje je dan poslije, nakon obilnih i intenzivnih kiša dosegnulo vrijednost od 12,0 NTU. Sljedećih dana mutnoća opada da bi 5. studenog nakon novih jakih i obilnih oborina dosegla maksimalnu vrijednost od 30 NTU (Slika 6.). Maksimalno dozvoljena vrijednost za mutnoću za vodu za piće iznosi 4 NTU (Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, NN 47/08).

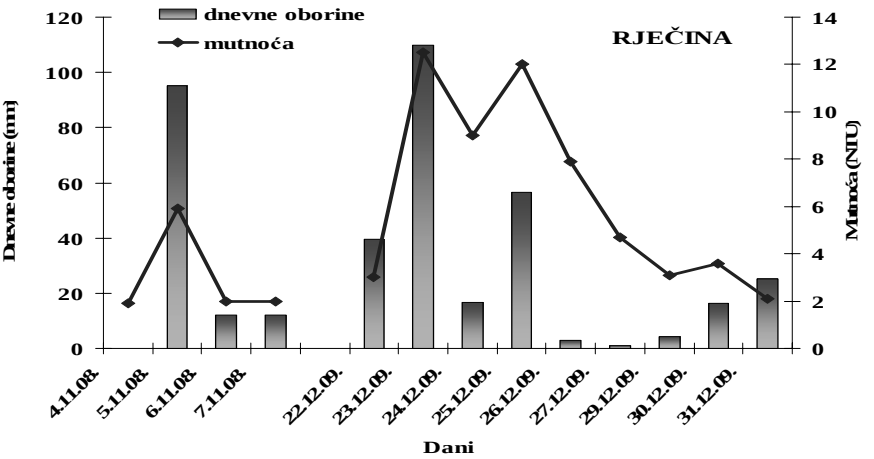
Obzirom na okolnosti 2. studenog započelo se sa zahvaćanjem izvorišta Rječine koje nije bilo zamućeno. Nakon drugog vala jakih kiša 5. studenog maksimalno izmjerena mutnoća izvora Rječine iznosila je 5,9 NTU, što je neznatno iznad dozvoljene vrijednosti za vodu za piće (Slika 7).

U 2009. g. prva pojava zamućenja izvorišta javlja se 22. prosinca a kulminirala je dan poslije nakon obilnih i intenzivnih kiša (50-110 l/m^2). Izmjerene mutnoće na izvorištu Zvir iznosile su 39 NTU, a na Rječini 12,5 NTU. Zbog istovremenog zamućenja svih izvorišta

vodoopskrbnog sustava grada Rijeke kontinuirana vodoopskrba bila je moguća samo uz isporuku zamućene vode. U tom se razdoblju za vodoopskrbu zahvaća samo izvorište Rječina. Dana 25. prosinca mutnoća izvorišta Rječine penje se ponovno do 12 NTU. Narednih dana mutnoća lagano pada da bi 28. prosinca pala ispod MDK kada se započelo s ispiranjem vodosprema i vodoopskrbne mreže (Slika 6.). Istovremeno, mutnoća opada i na izvorištu Zvir (Slika 7.).

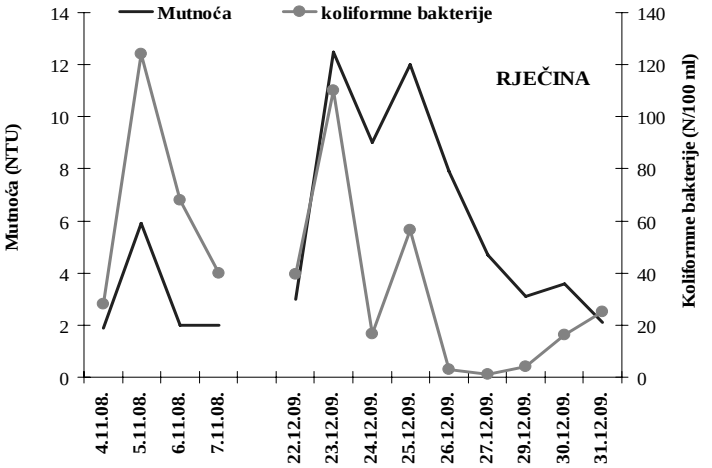


Slika 6. Kretanje mutnoće i oborina na Zviru 1 tijekom zamućenja 2008.i 2009. g. (podaci DHMZ i VIK Rijeka)

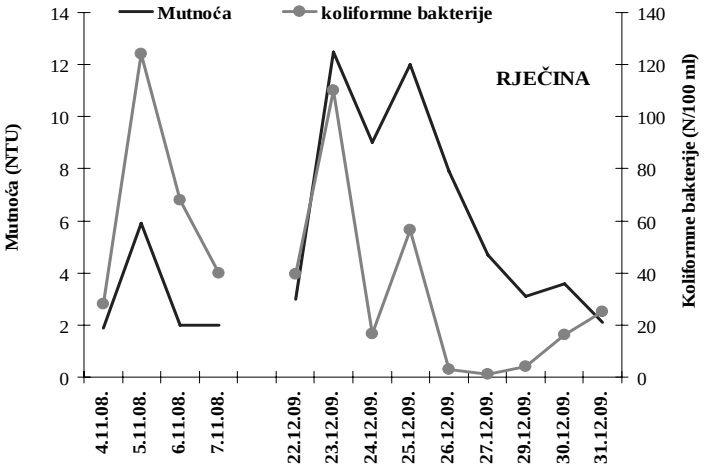


Slika 7. Kretanje mutnoće i oborina Rječine u periodima zamućenja 2008. i 2009. g. (podaci DHMZ i VIK Rijeka)

U oba slučaja zamućenja izvorišta i trajanja izvanrednih mjera učestalije je kontrolirana kvaliteta vode na izvorištima i zdravstvena ispravnost vode na mreži. Na Slikama 8. i 9. dan je prikaz kako zamućenje izvorišta prati i bakteriološko zagađenje. Svi ispitivani uzorci prerađene vode na mreži tijekom cijelog razdoblja zamućenja izvorišta bili su bakteriološki ispravni.

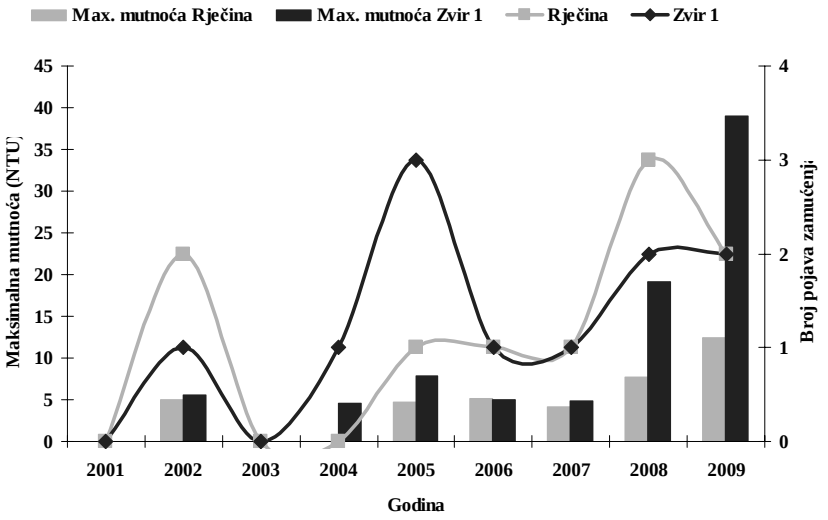


Slika 8. Zamućenje i bakteriološko onečišćenje u izvoru Rječine u periodima zamućenja 2008. i 2009. g. (podaci VIK Rijeka)



Slika 9. Zamućenje i bakteriološko onečišćenje u izvoru Zvir u periodima zamućenja 2008. i 2009. g. (podaci VIK Rijeka)

Analizirajući podatke izvorišta Rječina i Zvir 1 u vremenu od 2001. – 2009. g uočava se trend povećanja učestalosti i intenziteta zamućenja, posebice za izvorište Zvir 1 (Slika 10).



Slika 10. Učestalost i maksimalne vrijednosti mutnoće na izvorištima Rječina i Zvir 1 u vremenu od 2001. do 2009. godine

2.2. Poduzete mjere:

Sukladno propisanom Operativnim planom za provedbu mjera u slučaju izvanrednih prilika u vodoopskrbnom sustavu KD Vodovod i kanalizacija d.o.o., u oba slučaja zamućenja izvorišta tijekom 2008. i 2009.g. poduzete su sljedeće mjere:

- Pojačana dezinfekcija klor-dioksidom
- Pojačano praćenje kvalitete vode na izvorištima, u vodospremama i u vodovodnoj mreži
- Sastanak Kriznog stožera koji čine djelatnici Vodovoda, predstavnici Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi (sanitarna inspekcija) i djelatnici Nastavnog zavoda za javno zdravstvo
- Objava za medije; mjera preventivnog prokuhavanja vode
- Ispiranje vodosprema i vodoopskrbne mreže putem hidranata

ZAKLJUČAK

Pojava zamućenja izvorišta usljed velikih kiša uobičajena je pojava u krškim vodonosnicima s kojom, obzirom na evidentne klimatske promjene, treba dugoročno računati. Ona se javlja kako u Rijeci, tako i na području ostalih isporučitelja vodnih usluga (npr. Zadru, Dubrovniku i drugim mjestima). Trajanje i intenzitet zamućenja ovise o općem stanju i

opterećenju krških slivova, a posljedice o uspješnosti poduzetih mjera zaštite.

Učestalost i intenzitet poajva zamućenja povećan je u odnosu na prijašnje godine zbog povećanog opterećenja sliva, što se posebno odnosi na izvor Zvir 1. Analiza pojava zamućenja izvorišta ukazuje na sve prisutnije klimatske promjene. Povećava se broj kišnih dana s jakim intenzitetom oborina koje uzrokuju naglo dizanje razine podzemne vode. Periodi kontinuiranih padalina slabog intenziteta, koje omogućava polaganu saturaciju krškog podzemlja, sve su kraći.

Zaštita prirodnih vodnih resursa od nepoželjnih utjecaja urbanih sadržaja provodi se donošenjem i primjenom odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće.

Jedna od bitnim mjera zaštite je sanacija potencijalnih onečišćivaća na temelju izrađenog registra onečišćivača i potencijalnih onečišćivača, te izgradnja sustava odvodnje u zonama zaštite. Uz sve mjere zaštite potrebno je uspostaviti kontinuirano mjerenje izdašnosti izvora kao i praćenje kakvoće izvorskih voda kroz odabrane parametre.

U cilju osiguranja stabilnosti, sigurnosti i kontinuiteta vodoopskrbe potrebno je izraditi studiju isplativosti ugradnje filtera za uklanjanje mutnoće na izvorištima Zvir i Rječina, te studiju isplativosti izgradnje akumulacije na Rječini (područje naselja Kukuljani).

LITERATURA

[1] Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije (2011). Izvještaj: *Kakvoća vode izvorišta vodoopskrbnog sustava Rijeka u 2010. g*.

[2] Rubinić, J., Sarić, M. (2005): *Hidrologija vodnih resursa u slivu Rječine*, Zbornik radova stručno poslovnoga skupa Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje, Linić, A. (ur.), Rijeka, 199-208.

[3] Zavod za razvoj, prostorno planiranje i zaštitu čovjekova okoliša (1997). Prostorni plan Županije primorsko-goranske, Separat F1/3, *Zaštita voda*, Rijeka.

AUTORI:

Mr. sc. Danijela Lenac, dipl.ing. [a]
dr. sc. Darija Vukić Lušić, dipl. ing. [b, c]
Dušanka Ćuzela- Bilać, dipl. ing. [b]
prof. dr. sc.Vladimir Mićović, dr. med. [b,c]

[a] KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka, Dolac 14, 51 000 Rijeka, Hrvatska, danijela.lenac@kdvik-rijeka.hr

[b] Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Krešimirova 52 a, 51 000 Rijeka, Hrvatska, darija@zzjzpgz.hr; dusanka.cuzela@zzjzpgz.hr; ravnatelj@zzjzpgz.hr

[c] Medicinski fakultet Rijeka, Katedra za zdravstvenu ekologiju, Braće Branchetta 20, 51 000 Rijeka, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.52.

PRIMIJENJENA SPELEORONILAČKA ISTRAŽIVANJA U ZAŠTITI KRŠKIH VODONOSNIKA HRVATSKE

Petra Kovač-Konrad, Nenad Buzjak

SAŽETAK: Zahvaljujući brzom razvoju speleološke opreme i tehnike koja je povećala sigurnost ronjenja u podzemnim vodama, speleoronilačka istraživanja su, u kombinaciji s drugim metodama hidrogeoloških istraživanja, postala vrlo vrijedna metoda neposrednog prikupljanja podataka o krškim vodonosnicima. Tijekom speleoronilačkih istraživanja izrađuje se speleološki nacrt potopljenih kanala, fotografiranje, video snimanje, te specijalistička opažanja i uzorkovanja. Ove su aktivnosti vremenski ograničene specifičnostima ronjenja općenito, ali i podzemnog okoliša u kojem se speleoronjenje obavlja. Speleoronilačka istraživanja u Hrvatskoj imaju dugu tradiciju. Izdvojena su speleoronilačka istraživanja na području Ogulina gdje se istražuje niz potopljenih speleoloških objekata s geomorfološkog, hidrogeološkog, biospeleološkog, ekološkog, paleontološkog i arheološkog aspekta.

KLJUČNE RIJEČI: Speleoronjenje, Krški vodonosnik, Zaštita, Spilja, Jama

APPLIED CAVE DIVING RESEARCES IN PROTECTION OF KARST AQUIFERS IN CROATIA

SUMMARY: Thanks to the rapid development of caving equipment and techniques that improve the safety of diving in the caves, cave diving techniques, in combination with other methods of hydrogeological research, become a very valuable method of direct collection of data on karst aquifers. During cave diving research caving maps, photography, video recording, and specialized observation and sampling are made. These activities are time-limited by particularities of diving in general, but also the underground environment in which cave diving is performed. Cave Research in Croatia has a long tradition. Cave diving research in the area of Ogulin resulted with a series of researches in submerged caves from geomorphological, hydrogeological, biospeleological, ecological, paleontological and archaeological aspects.

KEY WORDS: Cave diving, Karst aquifer, Protection, Cave, Shaft

1. UVOD

Hidrološki ekstremi izazvani klimatskim promjenama, osim na površinske, posredno i neposredno utječu i na podzemne vode. Voda u krškom podzemlju, s obzirom na činjenicu da je krški reljef razvijen na polovici teritorija Republike Hrvatske, da na kršu živi trećina stanovništva Hrvatske te da krškom vodom snabdijeva značajan dio stanovništva i gospodarstva, čini jedan od najvrjednijih nacionalnih resursa (Zwahlen 2003., Biondić i dr. 1998.). Negativni antropogenu utjecaji u hrvatskom kršu geografski su nejednako raspodijeljeni i različitog su intenziteta. Najveće prijetnje podzemnim vodama dolaze od otpadnih voda iz kućanstava, s prometnica iz industrije, te zbog nepostojanja i lošeg stanja sustava odvodnje, odlagališta otpada i intenzivne primjene agrotehničkih sredstava u poljoprivredi. Stupanj ranjivosti krških vodonosnika ovisi o (Leibundgut 1998.):

a) značajkama tla i ostalih sedimenata na površini terena koji su ključni za zaštitu vodonosnika od onečišćenja s površine,
b) značajkama infiltracije vode u sustav,
c) razvijenosti epikrša i
d) razvijenosti krške cirkulacije.

S obzirom na prostorne varijacije ovih varijabli i ostali bitni parametri su također promjenljivi (brzina infiltracije i tečenja, kapacitet autopurifikacije i vrijeme zadržavanja zagađivala u sustavu). Svi oni, zajedno s filtracijom, kemijskim i biokemijskim procesima određuju stupanj ranjivosti vodonosnika.

Glavnina dosad prikupljenih podataka o podzemnim vodama u kršu rezultat je zahtjevnih speleoloških i hidrogeoloških istraživanja. Speleološkim istraživanjima otkriveni su brojni primjeri krške cirkulacije kroz prostrane i istraživačima dostupne kanale u kojima je, za razliku od ostalih tipova vodonosnika, moguće obavljati neposredna opažanja i istraživanja. U njima nezamjenljiva je uloga speleoronilačkih istraživanja u kojima speleoronilac može opažati karakteristike podzemne krške cirkulacije i obavljati istraživanja *in situ*. Iako se stanje u novije vrijeme zahvaljujući napretku speleoronjenja u Hrvatskoj popravlja, čak se i za izvore iz kojih se vodom snabdijeva stanovništvo raspolaže s malo podataka. Jedan od glavnih razloga jesu ekstremni uvjeti u kojima se speleoronilačka istraživanja obavljaju.

2. SPELEORONILAČKA ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ

Speleoronjenje u svim svojim aspektima (kao rekreativni oblik ronjenja, tehnika speleološkog istraživanja potopljenih speleoloških pojava, metoda u hidrogeološkim, geotehničkim, hidrotehničkim i sličnim stručnim i znanstvenim istraživanjima) u Hrvatskoj ima dugu tradiciju. Problem pisanja povijesnog prikaza (što nije cilj ovog članka) leži u činjenici da mnogi podaci nisu objavljeni nego se čuvaju u teško dostupnim elaboratima istraživačkih institucija, arhivama pojedinaca i speleoloških udruga ili uopće nisu dokumentirani. Poseban su problem i ilegalni uroni stranih ronilaca koji nemaju potrebna dopuštenja te hrvatskim speleolozima ne dostavljaju rezultate svojih istraživanja. Nadležne institucije su dosad po tom pitanju bile neučinkovite.

U novije vrijeme, s razvojem speleoronjenja, povećava se i broj članaka s podacima o rezultatima speleoronilačkih istraživanja Prema podacima koje su objavili S. Božičević

(1984., 1986. - 1987.), Lj. Kalinić i M. Garašić (1988.), te M. Kuhta (1999., 2003.) primijenjena speleološka i speleoronilačka istraživanja imaju dugu tradiciju koja počinje krajem 20-ih godina 20. stoljeća. U izvoru Rječine 1929. godine je do dubine od 28 metara zaronio teški ronilac koji je tom prilikom izradio i nacrt (Kuhta 2003.). Sustavna dokumentirana speleoronilačka istraživanja počela su 1959. godine i to kao metoda speleoloških istraživanja s ciljem prolaska potopljenih spiljskih kanala (sifona) u spilji Veternici na Medvednici (Kalinić i Garašić 1988.). Njihova primjena u početku je bila izuzetno ograničena zbog malog broja ronilaca koji su bili spremni roniti u vrlo negostoljubivim uvjetima, zatim nedostatka opreme te nepostojanja odgovarajućeg iskustva i edukacije. Razvojem tehnike, edukacije, organizacije istraživanja i opreme (Kernagis i dr. 2008.) koja je postala dostupna većem broju speleologa s vremenom se povećavao i broj speleoronilačkih istraživanja. U novije vrijeme se većina istraživanja obavlja u okviru raznih znanstveno-istraživačkih projekata specijaliziranih institucija ili speleoloških udruga (Čepelak 1982. - 1983., Garašić 1991., 1999., Jalžić i dr. 2004., Kovač-Konrad i Jalžić 2007., Kovačević 2003., 2007., 2009., 2010., Kovačević i Kovač-Konrad 2004., Kuhta 1999., 2001., 2003., Kuhta i dr. 2001., Vasseur 2000.). Najnoviji svjetski vrijedan rezultat su uroni hrvatskih speleoronilaca u sifonu Lukine jame (čija se razina nalazi na 1368 m dubine ispod razine ulaza) u kojem je prijeđeno 135 m u duljinu i 40 m u dubinu čime je postignuta trenutna (ali ne i konačna jer se kanal nastavlja) dubina jame od 1421 m (sl. 1; Mudronja i dr. 2010). U sličnu kategoriju ulazi i uron u vrelo Une gdje je dosegnuta (ne i konačna) dubina od 205 m i izrađena skica što je prvorazredni podatak za sve istraživače krša (Kovačević 2007.).

S obzirom na veliki broj spilja i jama Hrvatske u kojima je moguće napredovati ronjenjem, broj educiranih speleoronilaca u Hrvatskoj još je uvijek nedovoljan. Razlozi su u složenosti speleoronjenja s obzirom na otežane uvjete rada u potopljenim kanalima i u još uvijek skupoj kvalitetnoj speleoronilačkoj opremi i njenom skupom servisiranju i održavanju. Bitan problem je i činjenica da je, za razliku od klasičnog speleološkog obrazovanja (koje speleologe obučava za istraživanje "suhih" spilja i jama), sustav edukacije speleoronilaca slabo razvijen. S obzirom na teške uvjete u kojima se odvija, speleoronjenje zahtjeva određenu psihofizičku spremu. Za obavljanje speleoronjenja potreban je veliki tim koji uključuje glavne i pomoćne ronioce, ekipu na površini, ekipu za transport opreme, znanstvene suradnike, snimatelje i po potrebi medicinsko osoblje. Ovakva organizacija za sobom povlači i velike troškove što je dodatna otežavajuća okolnost, naročito za speleološke udruge. U njihovom financiranju stoga je nužna potpora kroz projekte i suradnju sa specijaliziranim ustanovama, gospodarskim subjektima, zaštićenim područjima i pojedincima koji mogu pronaći svoj interes u vrijednim podacima koje neposrednim istraživanjima mogu skupiti samo speleoronioci i speleolozi.

Iako je, zahvaljujući razrađenom sustavu obrazovanja u skladu s međunarodnim standardima prema Međunarodnoj speleološkoj uniji (UIS), današnje znanje prosječnog speleologa s višegodišnjim iskustvom sve bolje, sudeći po dostupnoj literaturi stručnjaci i znanstvenici koji se bave istraživanjem krških vodonosnika još uvijek slabo koriste njihove vještine i rezultate. Očito je da će proći još neko vrijeme dok speleolozi potpuno ne uvjere znanstvenu javnost da joj imaju za ponuditi suradnju koja može dati odlične rezultate (Stevanović i dr. 2010.). No, to nije problem samo u Hrvatskoj nego i u inozemstvu (White 2007.).

Proteklih nekoliko godina na razvoj speleoronjenja i speleologije općenito nepovoljno utječe nerazumijevanje pojedinaca iz Državne uprave za zaštitu prirode Ministarstva kulture koji u speleolozima ne vide partnere bitne za istraživanje i zaštitu krša, nego ih na temelju nepoznatih kriterija i razloga, unatoč vrijednim i svjetski priznatim rezultatima koje postižu, tretiraju kao nestručnjake i a prirori štetne korisnike prostora sa strogim uvjetima djelovanja propisanim u godišnjem dopuštenju za istraživanja koji se iz godine u godinu pogoršavaju.

Slika 1: Speleoronilac Branko Jalžić na ulazu u sifon u Lukinoj jami 10. 8. 2010. (foto: A.Kirin)

2.1. Definicija i kategorizacija speleoronjenja

Speleoronjenje je vrsta tehničkog ronjenja sa specijaliziranom ronilačkom opremom koje se odvija u specifičnim uvjetima spiljskih i jamskih kanala, dakle u nadsvođenim šupljinama bez prirodnog svjetla gdje ne postoji uvijek mogućnost slobodnog izrona na površinu (za razliku od ronjenja u otvorenim vodama: moru, oceanu, rijeci, jezeru). Speleoronioci dolaze iz redova speleologa koji završe specijalizirane tečajeve ili ronilaca koji završe speleološke ili specijalizirane tečajeve za ronjenje u speleološkim pojavama. U Hrvatskoj ova vrsta ronjenja zasad nije kategorizirana, a u svijetu je uobičajena podjela osnovna podjela na rekreativno ronjenje u speleološkim pojavama i speleoronjenje s više stupnjeva napredovanja (Barišić 2000., Heinerth 2010.). Pored speleoloških i speleoronilačkih tehnika, za primijenjena speleoronilačka istraživanja poželjne su i druge vještine, poput rukovanja raznim mjernim instrumentima, topografskog snimanja za potrebe izrade speleoloških nacrta, uzorkovanja, fotografiranja, video-snimanja, osnovna znanja iz geomorfologije i hidrogeologija krša i slično što će omogućiti da se u teškim i vremenski ograničenim uvjetima obavi što je moguće više zadataka te siguran povratak na površinu. Idealna je situacija kada su stručnjaci za pojedina područja obučeni za speleoronjenje.

2.2. Posebnosti uvjeta speleoronjenja

Uz uobičajene uvjete i opasnosti koji se javljaju tijekom ronjenja ili zbog nepravilnog ronjenja općenito (ograničeno vrijeme i dubina ronjenja, barotraume, dekompresijska bolest, dubinsko pijanstvo, vrtoglavica, poremećaji sluha i vida, kompresija, djelovanje plinova, utjecaj temperature) speleoronjenje ima niz specifičnih uvjeta zbog kojih ova aktivnost spada među najopasnije tehnike istraživanja uopće. To su:

a) mrak,
b) hladna voda i niska temperatura zraka, vlažnost blizu 100% koja onemogućava grijanje i sušenje tijela i odjeće,
c) ronjenje u zatvorenim kanalima gdje u slučaju opasnosti često nema mogućnosti za izron na površinu, tj. u prostor ispunjen zrakom ili se izranja u prostore s "lošim" zrakom (npr. smanjene koncentracije kisika, odnosno povećane koncentracije CO_2),
d) strujanje vode koje otežava ili pretjerano ubrzava kretanje,
e) zamućenje vode zbog lebdenja čestica sitnozrnatih sedimenata,
f) suženja kanala kroz koja se potrebno provlačiti ili skidati dijelove ronilačke opreme,
g) nagla širenja kanala i dvorana koja otežavaju orijentaciju,
h) problemi s sigurnosnom niti koja se postavlja tijekom ronjenja radi sigurnog kretanja kroz kanale (trganje, zapetljavanje) i povratka na ulaz,
i) umor zbog dugotrajnog kretanja i transportiranje opreme od ulaza u spilju ili jamu do mjesta urona i natrag,
j) težina opreme (oko 35 kg po roniocu),
k) povećani rizik od kvara, oštećenja i gubitka dijelova opreme (otkazivanje rasvjete, sustava dovoda zraka, kompenzatora plovnosti i slično).

Popisu treba dodati i vrlo česti uzrok nezgoda u speleoronjenju - subjektivne čimbenike koji su rezultat nedovoljne obučenosti i pripremljenosti speleoronilaca i neiskustva te iz njih proizašlih grešaka koje u tim uvjetima mogu biti fatalne.

Komunikacija među članovima speleoronilačke ekipe odvija se svjetlosnim signalima, signalima rukama, dodirom ili pisanjem po pločici ili ronilačkoj bilježnici u koje se upisuju i zabilješke tijekom istraživanja i mjerenja. Zbog navedenih uvjeta jedan od bitnijih dijelova ronjenja je dobra priprema samog urona i razrada plana istraživanja kako bi se što više vremena moglo posvetiti prikupljanju podataka zbog kojih se obavlja uron.

2.3. Metode speleoronilačkog istraživanja

Organizacija speleoronilačkih istraživanja se sastoji od nekoliko etapa. Speleološkim rekognosciranjem, konzultiranjem lokalnog stanovništva i speleologa, izvora, literature i kartografskih podloga pronalaze se, a GPS lociranjem određuju se geografski smještaji ulaza u speleološke objekte. Slijedi speleološko i speleoronilačko istraživanje s ciljem izrade speleološke dokumentacije - zapisnika speleološkog/speleoronilačkog istraživanja, speleološkog nacrta i ostale dokumentacije (foto i video). Problem oko sređivanja podataka na razini Hrvatske predstavlja činjenica da dosad nije postojala speleološka baza podataka na razini države iako je za njeno vođenje Zakon o zaštiti prirode ovlastio Državni

zavod za zaštitu prirode (DZZP). Tijekom 2011. i 2012. realizirat će se međunarodni projekt CRO speleo u organizaciji DZZP-a i partnera koji bi trebao riješiti i to pitanje. U ovom trenutku (travanj 2011.) postoje baze speleoloških podataka udruga, pojedinih zaštićenih područja i jedinstvena baza (bez nacrta) koju neredovito vodi više speleoloških udruga, ali koja predstavlja važan izvor informacija istraživačima (Barišić i Branica 2011.).

Osnovni dokument speleoronilačkog istraživanja (uz zapisnik) koji je vrlo vrijedan izvor podataka u primijenjenim istraživanjima krških vodonosnika je speleološki nacrt. Karakteristike i trajanje njegove izrade pod vodom velikim su dijelom diktirane uvjetima ronjenja, a posebno dubinom, trajanjem ronjenja (u prosjeku 60-90 minuta) i količine plinova na raspolaganju. Pri izradi speleološkog nacrta potopljenih kanala za prikupljanje podataka koriste se mjerni instrumenti i pribor koji mogu biti potopljeni u vodi. Od morfometrijskih podataka mjere se azimut (smjer pružanja) i dimenzije kanala (duljina, visina, dubina, širina) između mjernih točaka poligonskog vlaka (Barišić 2009.). Za mjerenja dubine (na temelju čijih razlika se određuje nagib i visina kanala) i azimuta, izradu profila ronjenja (čak i mjerenje temperature vode) koristi se ronilački kompjuter, zatim digitalni ili klasični podvodni kompas i mjerna traka. Na temelju prikupljenih podataka izrađuje se topografski nacrt u radnoj i digitaliziranoj verziji za što se koristi specijalizirani softver koji povećava točnost, olakšava kontrolu i ima velike mogućnosti mjerenja, vizualizacije podataka i izvoza u GIS aplikacije ili Google Earth (npr. Compass ili Speleoliti). Nacrt se georeferenciranjem smješta u prostor te se dobija potpunija informacija o pružaju kanala što je od odlučujućeg značenja za npr. određivanje vodozaštitnog područja, pri kartiranju i procjeni ranjivosti vodonosnika i sl. što površinskim istraživanjima i primjenom drugih metoda hidrogeoloških istraživanja nije moguće u tako dobroj mjeri. Sastavnim dijelom speleoronilačkih istraživanja često je i prikupljanje specijalističkih podataka (geoloških, geomorfoloških, sedimentoloških, biospeleoloških) snimanjem, opažanjem, mjerenjem ili uzorkovanjem (sl. 2). Geomorfološkim istraživanjima samih kanala dobivaju se podatci značajni za tumačenje geneze i evolucije vodonosnika, krške poroznosti i njenog utjecaja na hidrološku dinamiku. Dodatni podatci prikupljaju se data-logerima koji se postavljaju u sami kanal krškog vodonosnika na dulje vrijeme radi mjerenja fizičko-kemijskih parametara (nivoa vode, temperature, pH, konduktiviteta, TDS-a i sl.).

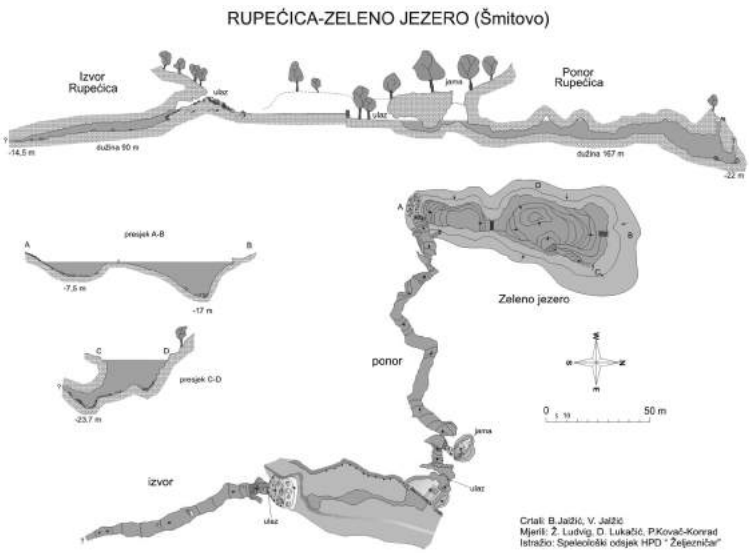
Slika 2: Speleoronilac Vedran Jalžić uzima uzorke vode i sedimenta za analizu (foto: P. Kovač-Konrad)

3. PRIMIJENJENA SPELEORONILAČKA ISTRAŽIVANJA NA PRIMJERU OGULINSKO - PLAŠĆANSKE ZAVALE I JASENAČKOG POLJA

Speleoronilačka istraživanja na području Ogulinsko - plašćanske zavale i u Jasenačkom polju uz potporu Hrvatskih voda i u organizaciji Speleološkog odsjeka Hrvatskog planinarskog društva "Željezničar", Hrvatskog biospeleološkog društva, Speleološkog kluba "Samobor", i Društva za istraživanje krša - Freatik, višegodišnji su projekti sustavnog prikupljanja podataka o speleološkim, geomorfološkim, hidrološkim i biospeleološkim značajkama, kvaliteti vode i stanju podzemnih ekosustava (s posebnim naglaskom na staništa endemske ogulinske špiljske spužvice), te paleontološkim i arheološkim značajkama (Buzjak i dr. 2010., Dečak-Barišić i dr. 2004., Lipovac, Vrkljan i Jalžić 2009., Jalžić i dr. 2007., Jalžić i dr. 2009., Kovač-Konrad i dr. 2010.). Tijekom istraživanja izrađeni su djelomično speleološki nacrti, postavljeni su data-logeri za mjerenje nivoa i temperature vode, postavljene su vapnenačke pločice za mjerenje korozije (sl. 3) te su učinjene brojne analize vode. Dio aktivnosti bio je višekratno uklanjanje dijela antropogenog otpada bačenog u potopljene speleološke objekte. Iz tog razloga provedena je eko-akcija speleologa, speleoronioca i lokalne zajednice čišćenja ponora Rupečice i Zelenog jezera, jednog od značajnijih nalazišta čovječe ribice (Bedek i Bilandžija 2007.).

Na području Ogulina je istraživano nekoliko potopljenih speleoloških objekata: izvor Rupečice - ponor Rupečice - Zeleno jezero (sl. 4), izvor Bistrac, sustav Pećine - Veliko vrelo i najnačajniji izvor Zagorske Mrežnice (Jalžić 2008.). **To je kompleksan speleološki objekt razgranatih kanala duljine 1170 m za koji, iako se koristi kao vodocrpilište, do ovih istraživanja nije bilo poznato puno podataka o njegovom podzemnom pružanju i ostalim značajkama što je osnova zaštite.** Istraživanjem izvora otkrivene su, osim vodoopskrbnih i paleontološke, biološke i arheološke vrijednosti što će se može koristiti i za turistički razvoj grada Ogulina (Kovač-Konrad i Jalžić, 2009.). Paleontološki nalazi otkriveni u izvoru Zagorske mrežnice činiti će novi postav Zavičajnog muzeja grada Ogulina te će kao takvi predstavljati novu turističku atrakciju i kulturnu vrijednost. Svako gospodarsko iskorištavanje ovog područja obvezno zahtjeva brigu o zaštiti prirodnih vrijednosti, prirode i okoliša. Sljedeći izazov u pokušaju da se ovo područje zaštiti je trasa planirane nizinske željezničke pruge prema Rijeci.

Slika 4: Nacrt potopljenog speleološkog sustava izvor Rupečice - ponor Rupečice - Zeleno jezero (izvor Jalžić i dr. 2009.)



Slika 3: Nenad Buzjak na lokaciji mjerenja intenziteta korozije u izvoru Zagorske Mrežnice (foto: P. Kovač-Konrad)

ZAKLJUČAK

Speleološkim istraživanjima otkriveni su brojni primjeri krške cirkulacije kroz prostrane i istraživačima dostupne kanale u kojima je, za razliku od ostalih tipova vodonosnika, moguće obavljati neposredna opažanja i istraživanja. U njima nezamjenljiva je uloga speleoronilačkih istraživanja u kojima speleoronilac može opažati karakteristike podzemne krške cirkulacije i obavljati istraživanja *in situ*. Iako se stanje u novije vrijeme zahvaljujući napretku speleoronjenja u Hrvatskoj popravlja, čak se i za izvore iz kojih se vodom snabdijeva stanovništvo raspolaže s malo podataka. Dobar primjer je izvor Zagorske Mrežnice kod Ogulina. Većina izvora u Hrvatskoj uopće nije ili je nepotpuno je istražena, bez kompletnih speleoloških nacrta. Zato je prije bilo kakvih zahvata na širem području potrebno obaviti speleoronilačka istraživanja kako bi se odredila ranjivost vodonosnika. Značajna komponenta speleoronilačkih projekata su istraživanja ekoloških i biospeleoloških značajki vodonosnika tijekom kojih se redovito utvrđuje da se radi o, u svjetskim mjerilima, iznimno vrijednim, ali i osjetljivim ekosustavima. Ovakva istraživanja trebala bi se sustavno provoditi na cijelom krškom području Republike Hrvatske uz suradnju speleoronioca i stručnjaka prirodoslovnih struka. Jedino sustavno istraživanje, dokumentiranje i kvalitetna interpretacija prikupljenih podataka mogu dovesti do adekvatne zaštite podzemnih voda. Uz ova opsežna istraživanja velika pažnja posvećuje se i edukaciji lokalnog stanovništva koje je neizostavni čimbenik zaštite u prostoru u kojem obitava.

LITERATURA

[1] Barišić, T. (2009): *Topografsko snimanje potopljenih dijelova speleološkog objekta*, Stručni seminar o izradi i vrednovanju speleoloških nacrta, Zbornik radova, 17-24.

[2] Barišić, T., Branica, B. (2011): *Baza podataka speleoloških objekata Hrvatske*, Stručni seminar o speleološkom katastru, Zbornik sažetaka, 8-9.

[3] Bedek, J., Bilandžija, H. (2007): *Čišćenje ogulinskog potopljenog podzemlja*, Subterranea Croatica, 9, 46-47.

[4] Biondić, B., Biondić, R., Dukarić, F. (1998): *Protection of karst aquifers in the Dinarides in Croatia,* Env. Geology, 34(4), 309-319.

[5] Božičević, S. (1984): *Primjena speleoloških istraživanja na području krša Hrvatske*, Deveti jug. spel. kongres, Zbornik radova, 131-144.

[6] Božičević, S. (1986-1987): *Speleoronilačka istraživanja Bože Paljetka*, Speleolog, 1986-1987 (XXXIV-XXXV), 40-41.

[7] Buzjak, N., Kovač-Konrad P., Jalžić, V. (2010): *Caves of shallow phreatic and epiphreatic zone in Sabljaci lake area (Ogulin region, Croatia)*, 18th International Karstological School "Classical Karst", Abstracts, 27.

[8] Dečak-Barišić, V., Jalžić, B., Kuhta, M. (2004): *Špilja Zagorska peć*. Speleolog, 2002-2003 (godište 50/51), 61-65.

[9] Čepelak, M. (1982-1983): *Špiljski sustav Panjkov ponor – Kršlje*, Speleolog, 1982-1983 (XXX-XXXI), 21-27.

[10] Garašić, M. (1991): *Karstifikacija spiljskog kanala iza Zelenog sifona i njegova hidrogeološka uloga u spiljskom sustavu Muškinje i Panjkove spilje na Kordunu*, Spelaeologia Croatica, 2, 5-14.

[11] Garašić, M. (1999): *Međunarodna speleološka ekspedicija u Crveno jezero kraj Imotskog*, Hrvatska vodoprivreda, 78, 40-42.

[12] Jalžić, B., Casati, L., Bolanz, J. J., Ostrman, J. (2004): *Speleološki kamp "Cetina '04"*, Subterranea Croatica, 3, 23-28.

[13] Jalžić V. (2008): *Speleoronilačka istraživanja na zapadnoj obali akumulacijskog jezera Sabljaci*, Projektni elaborat Hrvatskog biospeleološkog društva u suradnji sa Hrvatskim vodama.

[14] Jalžić, V., Bilandžija, H., Jalžić, B. (2007): *Speleoronilačka i biospeleološka istraživanja šireg područja grada Ogulina 2006. godine*, Speleolog, 2006 (godište 54), 36-38.

[15] Jalžić, B., Jalžić, V., Miculinić, K. (2009): *Izvor-špilja Rupečica – Ponor Rupečica i Zeleno jezero*, Speleolog, 2008 - godište 56, 44-50.

[16] Kernagis, D., McKinlay, C., Kincaid, T. (2008): *Dive logistics of the Turner to Wakulla cave traverse*, Diving for Science 2008 (ur. Brueggeman P., Pollock N.W.), Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 27th Symposium. Dauphin Island, AL: AAUS, 91-102.

[17] Kovač-Konrad, P., Jalžić, V. (2007): *Prvi sifon špilje Kusa 1*, Speleolog, 2006 (godište 54), 20-23.

[18] Kovač-Konrad P., Jalžić V. (2009): *Speleoronilačka istraživanja na području Modruške udoline*, Subteranea Croatica, Broj 11, godina VII, 37-40.

[19] Kovač-Konrad, P., Jalžić, V., Buzjak, N. (2010): *Speleoronilačka istraživanja izvora na zapadnoj obali akumulacijskog jezera Sabljaci*, Speleolog, 2009 - godište 57, 91-96.

[20] Kovačević, A., Kovač-Konrad, P. (2004): *Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Rakovica '04"*, Subterranea Croatica, 3, 16-22.

[21] Kovačević, T. (2003): Baraćeve špilje, TZ općine Rakovica, Rakovica, 48.

[22] Kovačević, T. (2006): *Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Zrmanja '06"*. Subterranea Croatica, 7, 14-17.

[23] Kovačević, T. (2007): *Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Zrmanjin ZOV 2007."*, Speleolog, 2007 - godište 55, 88-98.

[24] Kovačević, T. (2009): *Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Zrmanjin BUK '08."*, Speleolog, 2008 - godište 56, 51-60.

[25] Kovačević, T. (2010): *Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Rokina bezdana 2009."*, Speleolog, 2009 - godište 57, 73-86.

[26] Kuhta, M. (1999): *Speleoronilačka istraživanja izvora Rječine*, Speleolog, 1996-1997 (godište 44/45), 13-17.

[27] Kuhta, M. (2001): *Speleoronilačka istraživanja izvora Slunjčice*, Speleolog, 1998-1999 (godište 46/47), 30-34.

[28] Kuhta, M. (2003): *Geomorfologija izvora Zvir u Rijeci*, Speleolog, 2000-2001 (godište 48/49), 62-66.

[29] Kuhta, M., Jalžić, B., Novosel, A. (2001): *Izvor špilja Gojak*, Speleolog, 1998-1999 (godište 46/47), 3-12.

[30] Leibundgut, C. (1998): *Vulnerability of karst aquifers*, Karst Hydrology (Proceedings of Workshop W2 held at Rabat, Morocco, April-May 1997). AHSPubl. no. 247, 45-60.

[31] Mudronja, L., Paar, D., Lukić, M. (2010): *Speleološka ekspedicija Lukina jama "2010."*, Hrv. speleološki poslužitelj, www.speleologija.hr (25. 3. 2011.).

[32] Stevanović, Z., Milanović, S., Ristić, V. (2010): *Supportive methods for assessing effective porosity and regulating karst aquifers*, Acta Carsologica, 39/2, 313-329.

[33] Vasseur, F. (2000): *Ekspedicija "Speleoronjenje '99"*, Speleo'zin, 13, 3-23.

[34] White, W. (2007): *A brief history of karst hydrogeology: contributors of the NSS*, Journal of Cave and Karst Studies, v. 69, no. 1, 13-26.

[35] Zwahlen, F. (2003): *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers*. European Commision Directorate - General XII, Luxembourg, 7-8.

AUTORI

Petra Kovač-Konrada [a]
doc. dr. sc. Nenad Buzjak [b,c]

[a] Društvo za istraživanje krša - Freatik, Novački vidikovac 14, 10000 Zagreb, Hrvatska, petrakovkon1@gmail.com

[b] Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, Hrvatska, nbuzjak@geog.pmf.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.53.

GEOTERMALNE VODE REPUBLIKE HRVATSKE: KORIŠTENJE I TURISTIČKA VALORIZACIJA

Miron Kovačić, Staša Borović, Izidora Marković

SAŽETAK: Na temelju periodičnih opažanja stanja na lokacijama s geotermalnom vodom tijekom 13 godina analizirano je trenutno stanje i trend korištenja geotermalne vode u Hrvatskoj. Posebna pozornost posvećena je analizi korištenja ovih voda u turističke svrhe. Početkom 2011. godine geotermalna voda koristila se na 25 lokacija (15 izvorišta i 10 dubokih bušotina) na 10 različitih načina. Na pojedinim lokacijama voda se koristila samo na jedan, a na nekim čak na šest načina. Prevladavaju tradicionalni načini korištenja – rekreacija (17) i balneoterapija (9). Tijekom opažanja oscilacije u broju lokacija na kojima se koristi geotermalna voda bile su male, što je posljedica povremenog zatvaranja objekata zbog nužnih preuređenja i modernizacije, ili prestanka njihovog rada zbog nerentabilnosti. Iz praćenja trenda korištenja geotermalnih voda tijekom posljednjih 13 godina može se zaključiti da nema bitnih promjena. Smještajnih kapaciteta u odredištima topličkog turizma u nas ima malo i niskih su kategorija. Usprkos tome, godišnja popunjenost ovih objekata iznosi 27%, što je više i od nekih veoma popularnih destinacija na moru. S obzirom na neiskorišten geotermalni potencijal Hrvatske i predviđeni porast interesa za zdravstveni turizam, može se očekivati povećano korištenje geotermalne vode u tu svrhu.

KLJUČNE RIJEČI: geotermalna voda, korištenje, rekreacija, zdravstveni turizam, Hrvatska.

GEOTHERMAL WATERS OF THE REPUBLIC OF CROATIA: UTILIZATION AND TOURISM VALORISATION

SUMMARY: Current situation and trends in geothermal water utilization in Croatia have been analyzed based on observations in a period of 13 years. Special attention was devoted to the use of these waters for tourism purposes. Early 2011 geothermal water was utilized at 25 locations (15 springs and 10 deep boreholes) for 10 different purposes. At some locations the water is used in only one way, whereas at others it is used in a variety of ways. The traditional modalities of use remain dominant: recreation (17) and balneotherapy (9). During the observation, the fluctuations in the number of sites that utilized geothermal water were low, as a result of temporary closure of facilities due to the necessary reconstruction and modernization, or the termination of their work because of

non-profitability. Considering the changes of geothermal water utilization during the past 13 years, one can conclude that there was no significant trend. In Croatian spa resorts the accommodation is of inadequate quality as well as quantity. Nevertheless, the annual accommodation is 27%, which is more than some popular destinations on the coast. Given the untapped geothermal potential in Croatia and the anticipated growth in demand for medical tourism, increased use of geothermal waters for this purpose can be expected.

KEYWORDS: geothermal water, utilization, recreation, health tourism, Croatia.

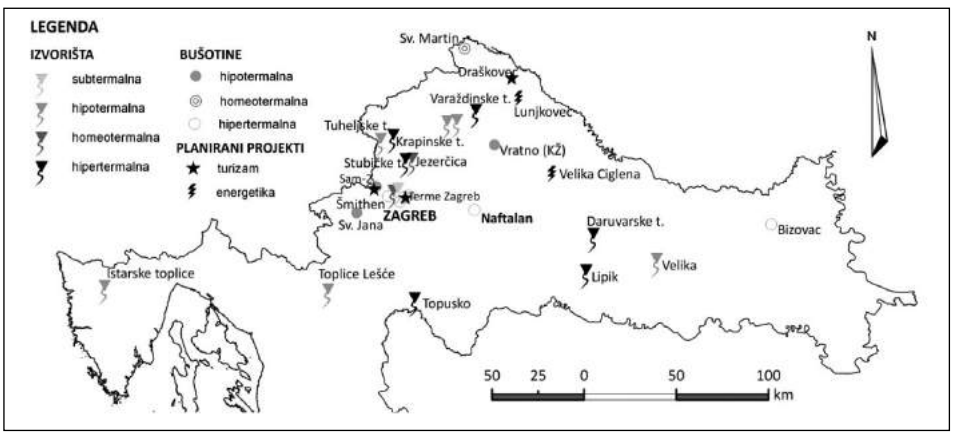
1. UVOD

Prvi rad u kojem je prezentiran pregled korištenja geotermalnih voda u cijeloj Hrvatskoj objavljen je prije trinaest godina (Kovačić i Perica, 1998). Od tada je pregled objavljen u još tri navrata (Kovačić, 2001 i 2006, Kovačić i Borović, 2010). Na temelju korigiranih podataka iz navedenih radova i snimke korištenja geotermalnih voda početkom 2011. godine ovdje se prikazuju stanje i trendovi korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj u proteklih 13 godina. Također, daju se naznake budućeg razvoja koje proizlaze iz trenda i planiranih projekata. Budući da se geotermalne vode na najviše lokacija koriste u turističke svrhe, u ovom je radu posebna pozornost usmjerena prema procjeni mogućnosti korištenja tog prirodnog resursa za potrebe razvoja turizma u Republici Hrvatskoj.

Podatci korišteni u ovom radu prikupljeni su u okviru projekta Geotermalna karta Republike Hrvatske (181-1811096-1790) kojeg financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta.

2. GEOTERMALNE VODE U HRVATSKOJ: RAZMJEŠTAJ, KORIŠTENJE I TRENDOVI

Republiku Hrvatsku, s obzirom na geotermijski potencijal, možemo podijeliti na dva dijela, čije se srednje vrijednosti najvažnijih geotermalnih parametara značajno razlikuju. Sjeveroistočni nizinski, panonsko – peripanonski dio odlikuje se visokim geotermalnim gradijentom (0,049 °C/m) i površinskim toplinskim tokom (76 mW/m^2). Nasuprot



Slika 1. Postojeće i planirane lokacije korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj

tome, jugozapadni, dinaridski dio ima niske srednje vrijednosti geotermalnog gradijenta (0,018 °C/m) i površinskog toplinskog toka (29 mW/m^2). U skladu s navedenim prirodnim značajkama, gotovo sve lokacije na kojima se geotermalna voda koristi nalaze se u sjeveroistočnom dijelu Hrvatske (Slika1.).

Hrvatski su geotermalni lokaliteti u ovom radu podijeljeni na dvije kategorije: izvorišta i duboke bušotine. Izvorišta su lokaliteti na kojima su termalne vode prirodnim putem dolazile ili još uvijek dolaze iz podzemlja na površinu. Naknadno su na mnogima od njih izgrađene kaptaže i/ili bušotine, pa na nekima danas zbog prekomjernog crpljenja više nema prirodnih izvora.

Kategorija duboke bušotine podrazumijeva lokalitete na kojima nema, niti je ikad bilo, prirodnih izvora, već su geotermalne vode pronađene u bušotinama koje su izrađene tijekom istraživanja i eksploatacije ležišta ugljikovodika.

Osim po načinu pojavljivanja u prirodi, geotermalne vode se razlikuju i po temperaturi. Temperature geotermalnih voda koje se u Hrvatskoj koriste su u rasponu od 17 do 98 °C. U Tablici 1. korištene geotermalne vode su podijeljene prema modificiranoj balneološkoj klasifikacija voda po temperaturi (Kovačić i Perica, 1998). Ova je klasifikacija nastala na temelju tradicionalne (Iveković i Peroš, 1981) koja se dugo koristila u Hrvatskoj.

Kategorija	**SUBTERMALNA**	**HIPOTERMALNA**	**HOMEOTERMALNA**	**HIPERTERMALNA**
Temperatura	13 - 20 °C	>20 - 34 °C	>34 - 38 °C	>38 °C
Izvorište	1	6	2	6
Duboka bušotina	0	4	1	5

Tablica 1. Kategorizacija geotermalnih lokaliteta Hrvatske prema temperaturi vode

Ovaj pregled obuhvaća korištenje geotermalnih voda u širokom rasponu temperatura – od subtermalnih do hipertermalnih, kao što je vidljivo iz Tablice 1. Način njihovog korištenja ovisi o temperaturi, pa se tako primjerice vode najnižih temperatura (18 – 20 °C) koriste za ribnjačarstvo, a vode najviših temperatura (68 – 98 °C) koriste se, između ostalog, za zagrijavanje vode i prostorija.

Slika 2. Stubičke Toplice - zdenac s geotermalnom vodom, uređaji za hlađenje vode i staklenik grijan geotermalnom vodom u pozadini

Geotermalne vode se u Hrvatskoj koriste na sljedeće načine: za rekreaciju, balneoterapiju, zagrijavanje vode i prostorija, za uzgoj bilja i ribe te kao sanitarna, vodovodna, stolna i mineralna voda. Najčešći način korištenja je za rekreaciju i balneoterapiju, što su modaliteti poznati još iz prapovijesti i antike. Po učestalosti slijedi zagrijavanje vode i prostorija te korištenje geotermalne vode kao sanitarne. U ostale se svrhe vode koriste tek na jednom ili dva lokaliteta (Tablica 2.). Na većini lokacija geotermalna voda se koristi na različite načine, ali na nekima se koristi samo na jedan način. Najveća je raznovrsnost u primjeni prisutna u Stubičkim toplicama, gdje se vode koriste na čak šest različitih načina: za rekreaciju i balneoterapiju, zagrijavanje vode i prostorija, uzgoj bilja te kao sanitarna voda (Slika 2.). S druge strane, u Svetoj Nedjelji se voda koristi tek na jedan način – za zagrijavanje plastenika.

	VRSTA GEOTERMALNOG LOKALITETA		
KORIŠTENJE	IZVORIŠTE	DUBOKA BUŠOTINA	UKUPNO
Rekreacija	14	3	17
Balneoterapija	7	2	9
Zagrijavanje vode	2	3	5
Zagrijavanje prostorija	4	4	8
Sanitarna voda	5	1	6
Ribnjačarstvo	2	1	3
Zagrijavanje staklenika	1	1	2
Stolna voda	0	1	1
Mineralna voda	1	0	1
Javni vodovod	1	1	2

Tablica 2. Načini korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj 2011. godine

Na nekim lokacijama na kojima se geotermalna voda trenutno koristi postoje planovi za povećanje količina crpljenja ili za uvođenje novih načina korištenja geotermalnih voda. Osim toga, javlja se i interes za korištenje geotermalne vode na novim lokacijama u Hrvatskoj. S planiranjem i projektiranjem za iskorištavanje geotermalnih voda i/ili energije najdalje se došlo na lokacijama: Terme Zagreb, Draškovec (Međimurje), Šmithen (kraj Samobora) u turističke svrhe te Lunjkovec (Podravina) i Velika Ciglena (kraj Bjelovara) za proizvodnju električne energije (Slika 1.).

Iz Tablice 3. je vidljivo da su najveće varijacije prisutne u korištenju geotermalnih voda za rekreaciju (15 lokacija 1998., 20 lokacija 2005., 17 lokacija 2011. godine). To nije posljedica realizacije novih projekata, već se radi o objektima koji se moraju zatvarati zbog nužnih preuređenja i modernizacije ili prestaju raditi zbog nerentabilnosti.

Promjene su također primjetne u korištenju geotermalnih voda za zagrijavanje staklenika/plastenika budući da se voda u tu svrhu počela koristiti tek 2006. godine. Broj lokacija s ostalim načinima upotrebe mijenja se malo ili nimalo, kao i ukupni broj lokacija u posljednjih 13 godina (24 – 27 lokacija) te bi se prije moglo govoriti o stagnaciji, negoli o povećanju korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj.

	BROJ LOKACIJA			
NAČIN KORIŠTENJA	1998.	2000.	2005.	2011.
Rekreacija	15	18	20	17
Balneoterapija	10	10	9	9
Zagrijavanje vode	5	5	5	5
Zagrijavanje prostorija	8	8	8	8
Sanitarna voda	6	6	6	6
Uzgoj ribe	2	2	2	3
Uzgoj bilja	0	0	2	2
Stolna voda	0	0	1	1
Mineralna voda	1	1	1	1
Vodovod	2	2	2	2
Ukupan broj lokacija (izvorišta/duboke bušotine)	**24** (17/7)	**24** (17/7)	**27** (18/9)	**25** (15/10)

Tablica 3. Načini korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj u odabranim godinama

3. KORIŠTENJE GEOTERMALNIH VODA U TURISTIČKE SVRHE

Termalne i mineralne vode jedan su od osnovnih resursa zdravstvenog turizma, grane turističke industrije s najvećim planiranim porastom u budućnosti. Porast se predviđa zbog sve izraženijeg starenja stanovništva, osobito u razvijenim zemljama. Osim toga, jača i svijest stanovništva o ″alternativnom″ liječenju koje ne iziskuje korištenje invazivnih metoda, već se koristi prirodnim ljekovitim svojstvima vode.

Postoji nekoliko vrsta korištenja prirodnih ljekovitih čimbenika, a među njima se na području Republike Hrvatske ističe balneoterapija, koja primjenjuje geotermalne vode u ljekovite svrhe. Balneoterapija može biti stručna, gdje se koristi pod stalnim liječničkim nadzorom, te samostalna koja se koristi u rekreaciji, kao i u turizmu. Neki od učinaka balneoterapije su: analgezija, mišićno opuštanje, protuupalni učinak, povećanje rastezljivosti vezivnog tkiva, povećanje imuniteta, izlaženje otpadnih tvari kroz kožu itd. (Ivanišević, 2009). Kao što je već ranije navedeno, Hrvatska je bogata izvorima termalnih voda u panonskom području. Posljedica toga je višestoljetno korištenje istih u svrhu liječenja i rekreacije. Za sad se tek na manjem broju destinacija razvio visoko profitabilni zdravstveni turizam koji optimalno koristi geotermalne vode. Ključno ograničenje daljnjeg razvoja zdravstvenog turizma u brojnim topličkim odredištima, koja koriste najvrjednije prirodne resurse, proizlazi iz institucionalnog statusa specijalnih bolnica. One uslijed postojeće pravne regulative te vlasničkog i tradicionalnog statusa nisu dovoljno orijentirane na valoriziranje mogućnosti koje pruža zdravstveni turizam.

Smještajnih kapaciteta u odredištima topličkog turizma u nas ima malo i niskih su kate-

gorija. Broj noćenja tijekom 2010. godine od gotovo 313 tisuća (Tablica 4.) čini manje od 1% u ukupnom broju noćenja u RH, što je vrlo malo, s obzirom na veliki potencijal ovih destinacija. Potencijal odredišta koja baziraju svoju ponudu na termalnim vodama proizlazi i iz činjenice da se u njima ne odvija samo sezonski uvjetovan turistički boravak, već da ona mogu svoju maksimalnu popunjenost ostvarivati tijekom cijele godine. To je vidljivo i danas iz podatka da godišnja popunjenost ovih objekata iznosi 27%, što je više i od nekih veoma popularnih odredišta u primorju.

	BROJ NOĆENJA		
VRSTA SMJEŠTAJNOG OBJEKTA	**2000.**	**2005.**	**2010.**
Hotel	155.962	158.222	161.855
Lječilište	26.912	40.796	78.569
Nekategorizirani objekt	133.536	145.797	51.707
Privatni smještaj	3.159	4.934	16.643
Ostalo	1.629	1.696	4.126
UKUPNO	**321.198**	**351.445**	**312.900**

Tablica 4. Ostvareni broj noćenja u topličkim smještajnim kapacitetima u odabranim godinama

Osim što su termalne vode baza razvoja zdravstvenog turizma, one su i resurs za rekreacijsko - kupališni turizam. Problem je što neke od toplica na ovoj vrsti turizma temelje svoju ukupnu ponudu, a to ih čini nisko profitabilnim odredištem koje svoj potencijal ne iskorištava u potpunosti. Takve destinacije trebale bi težiti proširenju svoje ponude s ciljem da postanu zdravstveno - turistički centri prepoznatljivi i izvan granica Hrvatske.

ZAKLJUČAK

Od 25 lokaliteta na kojima se koristi geotermalna voda u Hrvatskoj, njih 22 se nalazi u njenom panonskom dijelu kojeg karakteriziraju visoke vrijednosti površinskog toplinskog toka i geotermalnog gradijenta.

Prema načinu pojavljivanja, lokaliteti se mogu podijeliti na izvorišta i bušotine. Na obje vrste lokaliteta, s obzirom na temperaturu, prevladavaju hipotermalne i hipertermalne vode.

Geotermalne vode se u Hrvatskoj koriste na sljedeće načine: za rekreaciju, balneoterapiju, zagrijavanje vode i prostorija, za uzgoj bilja i ribe te kao sanitarna, vodovodna, stolna i mineralna voda. Među pojedinim lokacijama postoje značajne razlike u raznovrsnosti primjene vodâ (1 – 6 načina). Izrazita je dominacija uporabe vodâ za rekreaciju i balneoterapiju, a u zadnje se vrijeme pojavljuju i inovativni načini korištenja u ribnjačarstvu i proizvodnji biljaka u staklenicima i plastenicima.

Iz praćenja trenda korištenja geotermalnih voda tijekom posljednjih 13 godina može se zaključiti da nema bitnih promjena. Oscilacije u broju lokacija i načinu korištenja tijekom promatranog razdoblja posljedica su povremenog zatvaranja objekata zbog nužnih

preuređenja i modernizacije ili prestanka njihovog rada zbog nerentabilnosti.

Analizom podataka o topličkim destinacijama može se zaključiti da su smještajni kapaciteti mali i nisko kategorizirani, ali da je usprkos tome njihova godišnja popunjenost veća od nekih poznatih odredišta na moru. To je posljedica njihovog korištenja tijekom cijele godine, a ne samo u ljetnoj sezoni, kao što je slučaj s turističkim kapacitetima na moru.

U Hrvatskoj postoje velike mogućnosti za bolje i profitabilnije korištenje geotermalnih voda u turističke svrhe. S tim ciljem je na postojećim lokacijama moguće proširivanje zdravstveno – turističkih sadržaja, povećanje kvalitete i kvantitete smještajnih kapaciteta i korištenje geotermalnih voda na više načina nego do sada. Također, moguće je izgraditi nove kapacitete na lokacijama na kojima postoji geotermalna voda, a do sad se nije koristila.

LITERATURA

[1] Iveković, H. i Peroš, R. (1981): *Mineralne i termalne vode SR Hrvatske*, JAZU, Zagreb, 190.

[2] Ivanišević, G. (2009): *Hrvatske termomineralne vode*, Knjiga izlaganja na znanstvenom skupu: 300 godina balneoloških analiza u hrvatskoj, Akademija medicinskih znanosti Hrvatske, Zagreb, 51 – 64.

[3] Kovačić, M. (2001): *Temeljne geotermijske značajke Hrvatske i korištenje geotermalnih voda u Hrvatskoj tijekom 2000. godine*, Hrvatske vode, 9, Zagreb, 145 - 150.

[4] Kovačić, M. (2006): *Pregled sadašnjeg i naznake budućeg korištenja geotermalne energije u Republici Hrvatskoj*- Stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj, Zbornik radova (Urednici: Ščulac-Domac, M., Vančina, F.), Hrvatska gospodarska komora, Šibenik, 167 - 174.

[5] Kovačić, M. & Borović, S. (2010): *Trends in geothermal water utilization in Croatia*, 4. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem – Knjiga sažetaka (Urednik - Horvat, M.), Hrvatski geološki institut, Zagreb, 199 – 200.

[6] Kovačić, M. & Perica, R. (1998): *Stupanj korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj*, Hrvatske vode, 25, Z

AUTORI

dr. sc. Miron Kovačić, dipl. ing. geol.[1]
Staša Borović, dipl ing. geol.[1]
Izidora Marković, prof. geol. i geogr.[2]

[1] Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, Zagreb, 10 000, Hrvatska
mkovacic@hgi-cgs.hr

[2] Institut za turizam, Vrhovec 5, Zagreb, 10 000, Hrvatska
izidora.markovic@iztzg.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.54.

PRIJEDLOG RAZGRANIČENJA PRIOBALNOG MORA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA

Nenad Leder, Sanja Barbalić, Valerija Filipović, Darko Barbalić

SAŽETAK: U procesu pristupa Europskoj uniji Republika Hrvatska ima obvezu implementacije europske pravne stečevine. „Okvirna direktiva o vodama", jedan je od najvažnijih dokumenata Europske unije u upravljanju vodama. U članku 2 „Okvirne direktive o vodama" definiran je pojam *'coastal water'* koji se odnosi na priobalno more, a u hrvatsko zakonodavstvo transponiran je kao *'priobalna voda'*. Za određivanje *'priobalnih voda',* prema definiciji iz „Okvirne direktive o vodama", potrebno je poznavati i pojam *„polazne crte od koje se mjeri teritorijalno more"*. Za hrvatski dio Jadrana „polazna crta od koje se mjeri teritorijalno more" definirana je Pomorskim zakonikom. Na osnovi odredbi „Okvirne direktive o vodama", „Pomorskog zakonika" i „Zakona o hidrografskoj djelatnosti" Republike Hrvatske, izrađen je prijedlog razgraničenja *'priobalnih voda'* Republike Hrvatske. Za potrebe daljih analiza izvršena je i predstavljena generalizacija hidrografskih karakteristika hrvatskog dijela Jadranskog mora (dubine, salinitet, temperatura mora, strujanje, plimne oscilacije i sl.).

KLJUČNE RIJEČI: priobalne vode, upravljanje vodama, hidrografska djelatnost, Jadransko more

PROPOSAL FOR DETERMINATION OF THE REPUBLIC OF CROATIA'S COASTAL WATERS ACCORDING TO THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

SUMMARY: In the EU accession process, the Republic of Croatia has the obligation to implement the European Union's acquis. The Water Framework Directive is one of the most important EU documents for water management. Article 2 of the Water Framework Directive defines the term 'coastal water' which refers to the coastal sea, and is transposed into Croatian legislation as 'costal waters'. In order to determine 'coastal water' according to the definition from the Water Framework Directive, it is necessary to also be acquainted with the term 'baseline from which the breadth of territorial sea is measured'. For Croatian part of the Adriatic Sea, 'baseline from which the breadth of territorial sea is measured' is defined in the Maritime Code. Based on the requirements of the Water Framework Directive, Maritime Code and Hydrographic Activity Act of the Republic of

Croatia, a proposal was drafted for the determination of 'coastal water' of the Republic of Croatia. For purposes of further analyses, a generalization of hydrographic characteristics of Croatian part of the Adriatic Sea was developed and presented (depth, salinity, sea temperature, current velocity, tidal range, etc.).

KEY WORDS: coastal water, water management, hydrographic activity, Adriatic Sea

1. UVOD

Okvirna direktiva o vodama (EU 2000/60/EC) jedan je od najvažnijih dokumenata Europske unije u upravljanju vodama. U članku 2 Direktive definiran je pojam "coastal water" koji se odnosi na priobalno more, a u hrvatsko zakonodavstvo transponiran je kao "priobalna voda". Za određivanje "priobalnih voda", prema definiciji Direktive, potrebno je poznavati i pojam "polazne crte od koje se mjeri širina teritorijalnog mora" a koji je određen 1958. godine u "Konvenciji o teritorijalnom moru i vanjskom pojasu" i kasnije u "Konvenciji Ujedinjenih naroda o pravu mora" iz 1982. godine.

Za hrvatski dio Jadrana "polazne crte od kojih se mjeri širina teritorijalnog mora" prvi su put primijenjene duž bivše jugoslavenske obale "Zakonom o obalnom moru, vanjskom morskom pojasu i epikontinentalnom pojasu" iz 1948. godine (Službeni list SFRJ br. 106/48) (prema Gržetić i dr., 2010). U Republici Hrvatskoj "polazne crte od kojih se mjeri širina teritorijalnog mora" definirane su Pomorskim zakonikom (NN 181/2004).

Uz prijedlog razgraničenja priobalnog mora Republike Hrvatske prema Okvirnoj direktivi o vodama uz uvažavanje propisa Republike Hrvatske, za potrebe daljnjih analiza izvršena je i generalizacija bitnih hidrografskih karakteristika hrvatskog dijela Jadranskog mora.

2. REGULATORNI OKVIR

Sagledavanjem propisa Republike Hrvatske i Europske unije koji su važni za analizu i prijedlog razgraničenja priobalnog mora, došlo se do zaključka da je potrebno primijeniti odredbe sljedećih pravnih dokumenata:

- Okvirna direktiva o vodama – Water Framework Directive (2000/60/EC);
- Zakon o vodama (NN 153/2009)
- Pomorski zakonik (NN 181/2004);
- Zakon o hidrografskoj djelatnosti (NN 68/98, 163/03).

Okvirna direktiva o vodama (Water Framework Directive, 2000/60/EC) - dokument izvorno napisan na engleskom jeziku.	
U engleskom originalu - Članak 2(7):	U Zakonu o vodama - Članak 3(65):
"**Coastal water** means surface water on the landward side of a line, every point of which is at a distance of one nautical mile on the seaward side from the nearest point of the baseline from which the breadth of territorial waters is measured, extending where appropriate up to the outer limit of transitional waters."	**"Priobalna voda[1]"** su površinske vode unutar crte udaljene jednu nautičku milju od polazne crte od koje se mjeri širina voda teritorijalnog mora u smjeru pučine, a u smjeru kopna protežu se do granice prijelaznih voda.
Pomorski zakonik (NN 181/2004)	
Granice na moru u području hrvatskog dijela Jadranskog mora prikazuju se na službenoj karti Jadranskog mora u izdanju Hrvatskog hidrografskog instituta. Osim crte razgraničenja "priobalnog mora" prikazane su i sljedeće crte: - obalne crte kopna i otoka, - crte teritorijalnog mora, - polazne crte, - crte razgraničenja epikontinentalnog pojasa. Navedene crte definirane su člancima Pomorskog zakonika (NN 181/2004) u kojima se definiraju pojmovi unutarnjih morskih voda, teritorijalnog mora i epikontinentalnog pojasa.	
Zakon o hidrografskoj djelatnosti - Članak 5 (4 i 5)	
Hrvatski hidrografski institut obavlja sljedeće hidrografske djelatnosti: - projektiranje, izradu, izdavanje i održavanje službenih pomorskih navigacijskih karata i priručnika, njihovo usklađivanje s IHO i IMO-preporukama, te održavanje i pohranjivanje izvornika, - opisivanje i ucrtavanje geodetsko određene granice suvereniteta Republike Hrvatske na moru, uvažavajući druge propise kojima se regulira državna granica, održavanje i praćenje baze službenih podataka o moru iz područja: navigacije, hidrografije (objekti na moru i podmorju), kartografije, geologije, geofizike i oceanologije (kolebanje razine mora, valovi, struje mora, termohalinska, hidroakustička i optička svojstva mora, hidrometeorologija i sl.), te ustrojavanje i vođenje pomorskog katastra.	

Tablica 1. Pregled odredbi propisa korištenih pri razgraničenju prioblanih voda

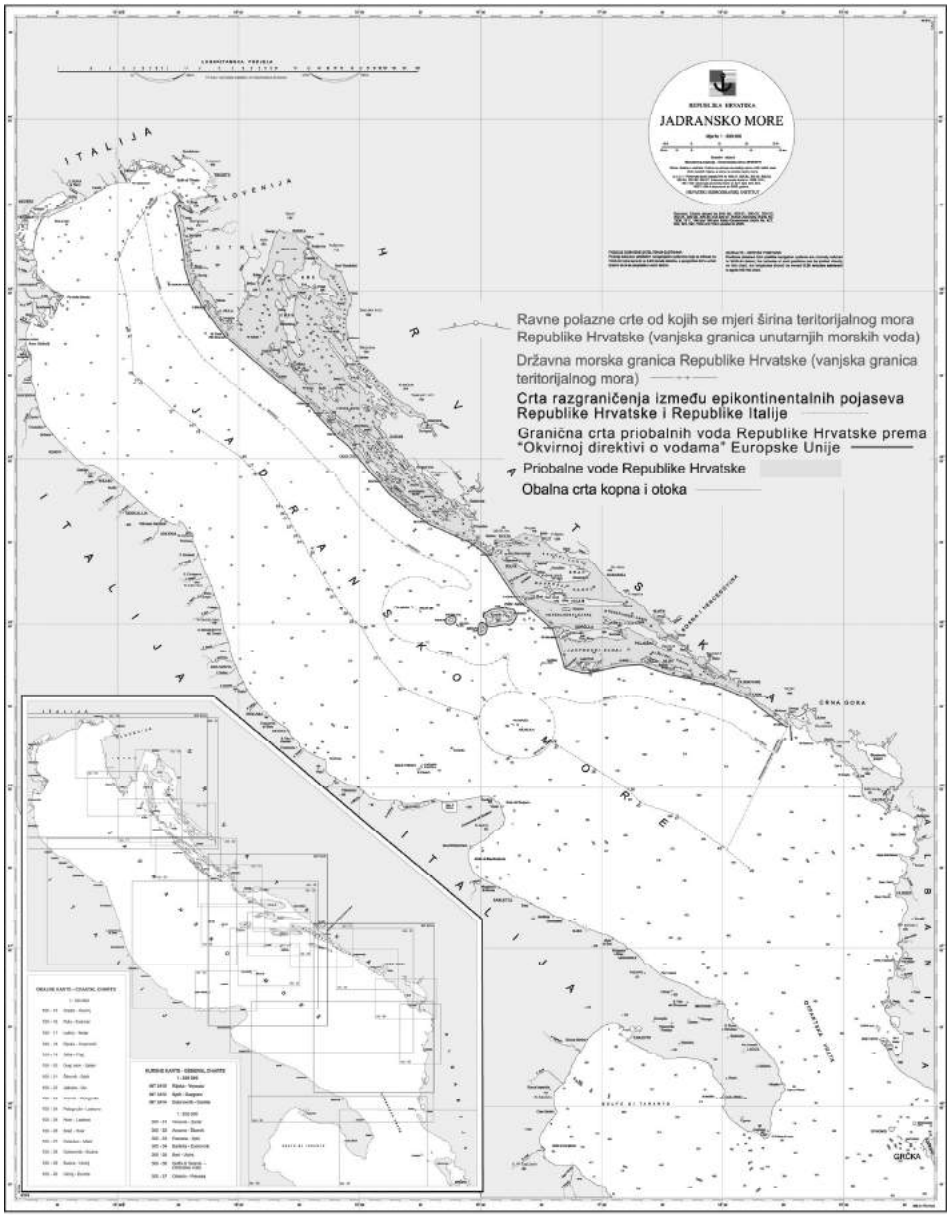
[1] U biti je riječ o priobalnom moru

3. RAZGRANIČENJE PRIOBALNOG MORA

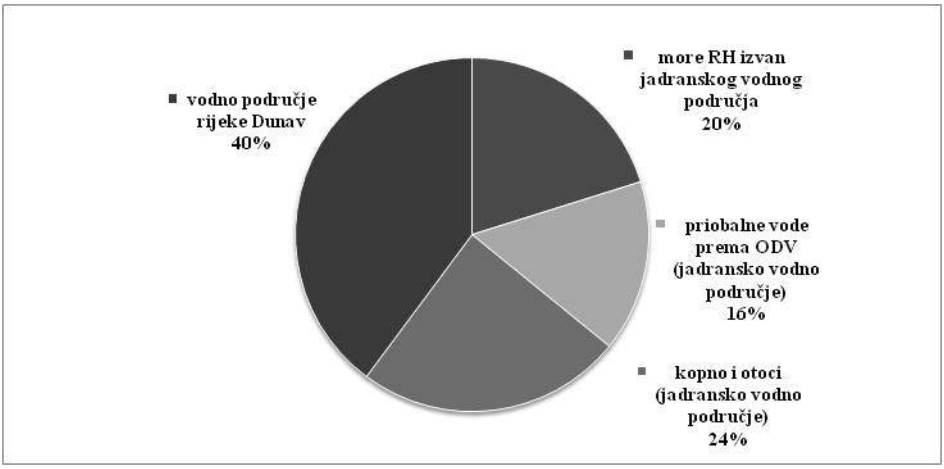
Karta prijedloga razgraničenja priobalnog mora Republike Hrvatske prema Okvirnoj direktivi o vodama, odnosno Zakonu o vodama na kojoj su nacrtane i sljedeće crte: obalne crte kopna i otoka, polazna crta od kojih se mjeri širina teritorijalnog mora, vanjska granica teritorijalnog mora i crte razgraničenja epikontinentalnog pojasa prikazana je na slici 1. Pri razgraničenju priobalnog mora korištena je kao kartografska podloga službena karta 101 Hrvatskog hidrografskog instituta – Jadransko more: Besselov elipsoid, Mercatorova projekcija – konstrukcijska širina 43° 00' 00'' N, mjerila 1:800 000.

Teritorij Republike Hrvatske je za potrebe upravljanja vodama podijeljen na dva vodna područja: vodno područje rijeke Dunav i jadransko vodno područje. Granica između vodnih područja prati hidrografsko-hidrogeološku granicu između jadranskog i crnomorskog sliva, a ostale granice su definirane državnom granicom odnosno crtom razgraničenja priobalnog mora.

Površina jadranskog vodnog područja (koje obuhvaća priobalne vode) iznosi 35.289 km^2. Na kopno s otocima otpada 60%, a na prijelazne i priobalne vode mora oko 40% ukupne površine jadranskog vodnog područja.



Slika 1. Karta prijedloga razgraničenja priobalnih voda Republike Hrvatske



Slika 2. Udio površina priobalnog mora u ukupnoj površini Republike Hrvatske

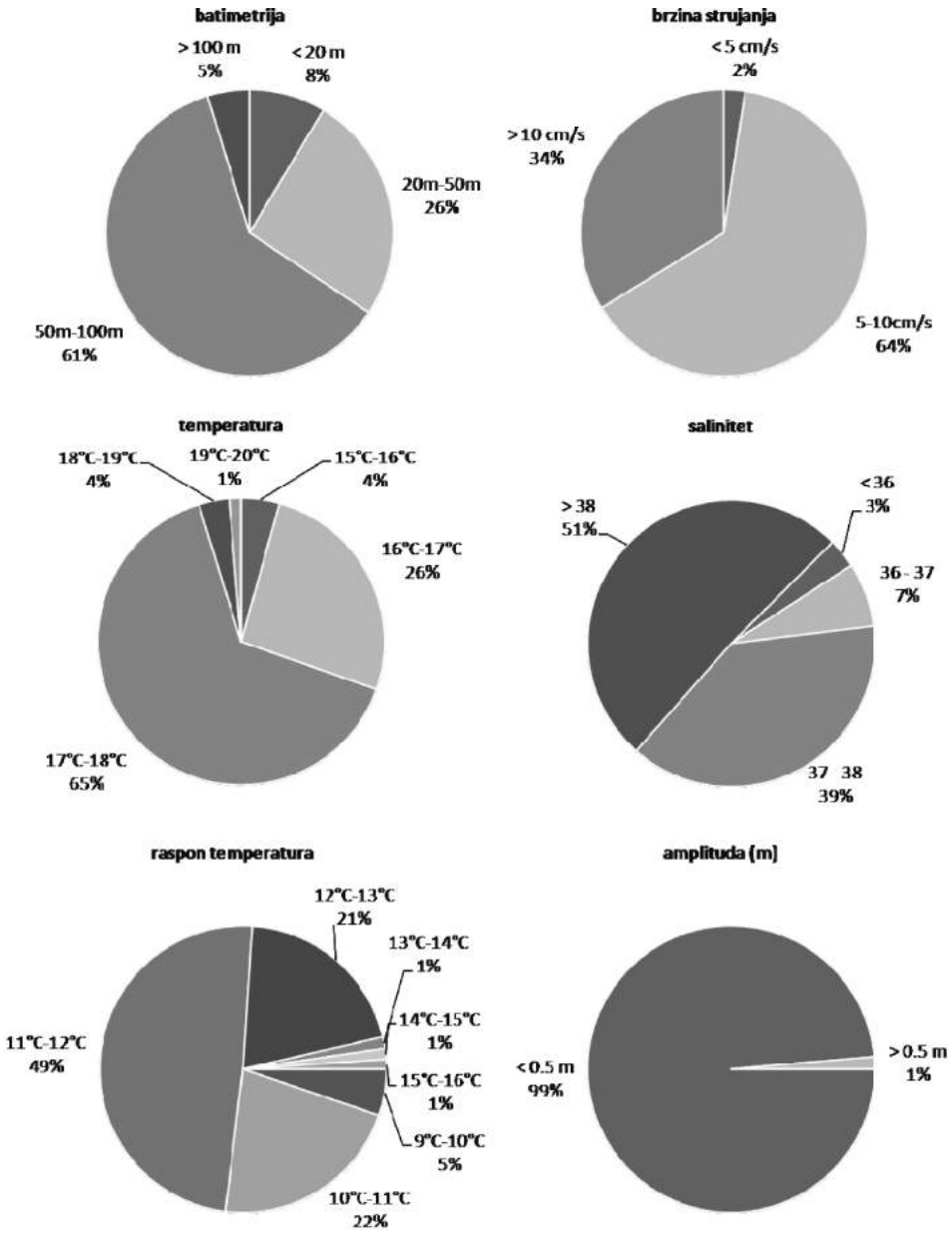
4. GENERALIZACIJA HIDROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA PRIOBALNOG MORA

Generalizacija hidrografskih karakteristika priobalnog mora Republike Hrvatske je kompilacija postojećih prostornih podataka o Jadranskom moru dopunjenih i sistematiziranih u topološki konzistentan set podataka o moru s točnošću i detaljnošću koje odgovaraju mjerilu karte 1:25.000, a koji se sastoji od:

- Linijskog seta podataka koji sadrži:
  - obalne crte kopna i otoka,
  - vanjske granice teritorijalnog mora,
  - polazne crte,
  - crte razgraničenja epikontinentalnog pojasa,
  - prijedloga crte razgraničenja "priobalnog mora
  - crte granice između mora i prijelaznih voda.
- Poligonskog seta podataka koji sadrži područja (prema kategorijama dodatka II točka 1.2.4. Direktive i podkategorijama prilagođenim hrvatskim uvjetima):
  - Područja istih raspona dubina,
  - Područja s jednakim prosječnim godišnjim salinitetom,
  - Područja s jednakom prosječnom godišnjom temperaturom mora,
  - Područja s jednakim prosječnim godišnjim rasponom temperature mora,
  - Područja ujednačenih karakteristika plime,
  - Područja ujednačenih brzina i smjerova strujanja,
  - Područja prijelaznih voda u blizini najvećih priobalnih rijeka.

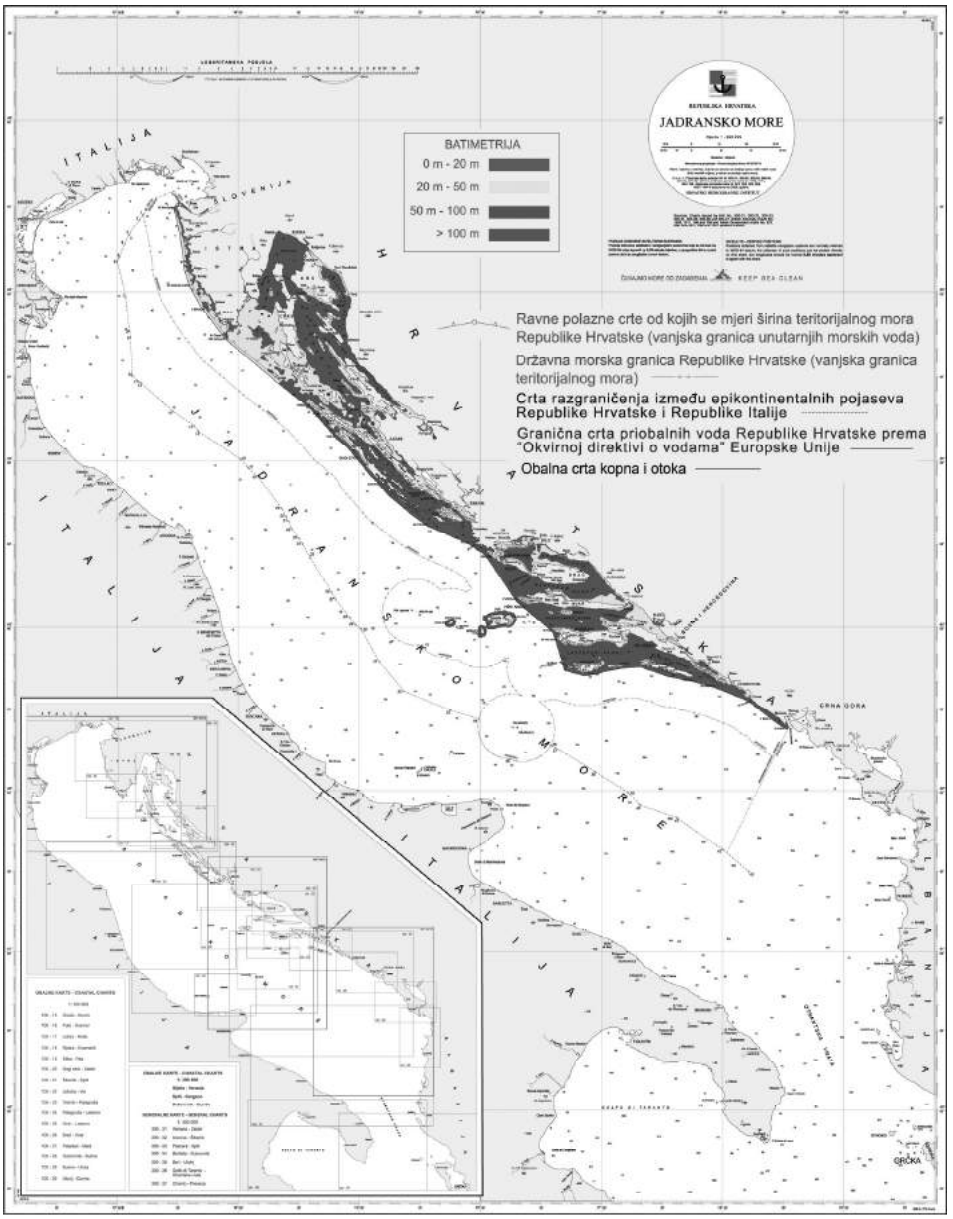
Potrebno je istaknuti da je generalizacija poligonskog seta podataka dubine mora, temperature i saliniteta, plimnih oscilacija, morskih struja i područja prijelaznih voda prilagođena razini točnosti koju zahtijeva plan upravljanja jadraskim vodnim područjem, a vrijed-

nosti poligonskih setova podataka na pojedinim mikrolokacijama uslijed generalizacije mogu značajno odstupati od mjerenih stvarnih vrijednosti.

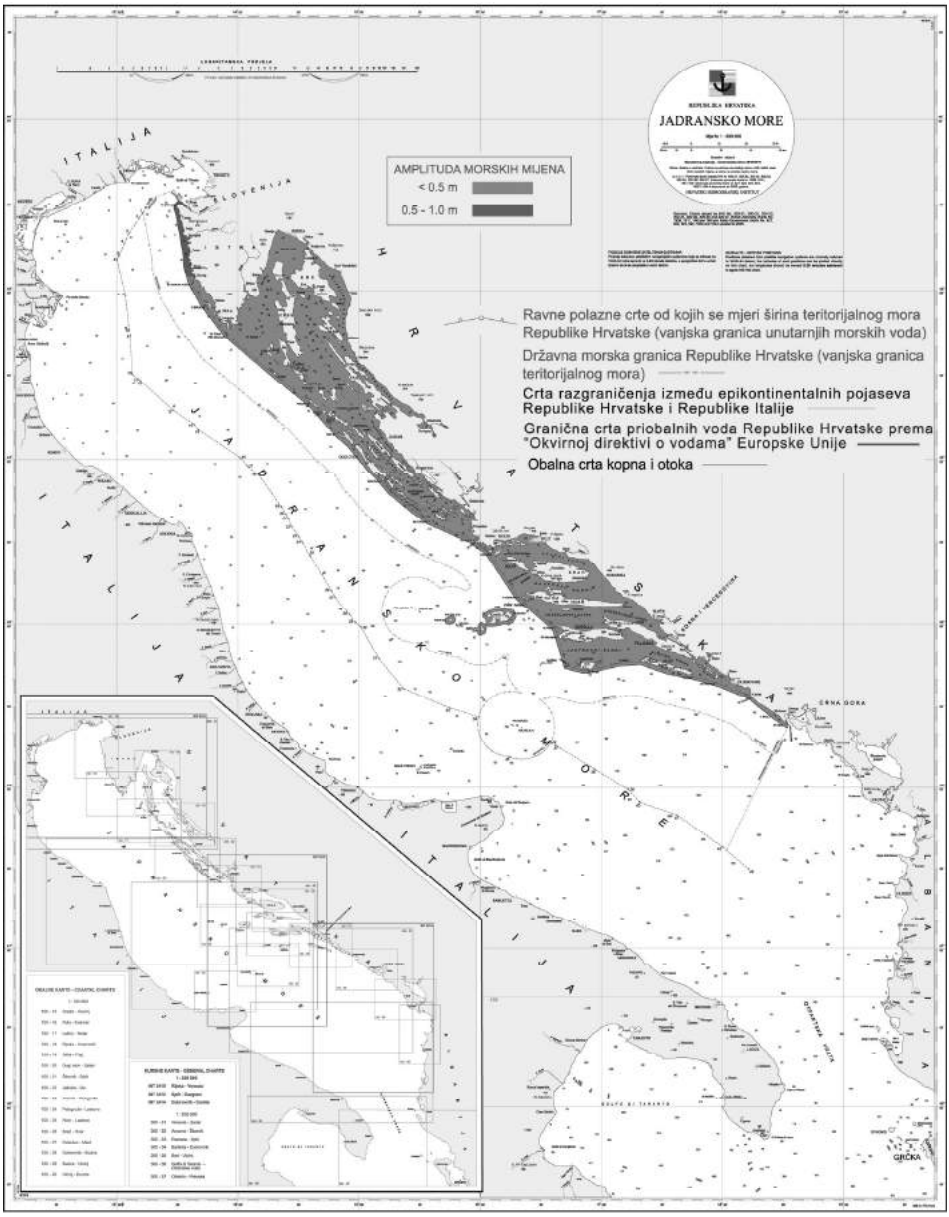


Slika 3. Pregled rezultata generalizacije hidrografskih karakteristika priobalnog mora

Generalizacija poligonskih setova obavljena je na osnovi baze podataka Hrvatskog hidrografskog instituta i dostupnih stručnih i znanstvenih radova. Detaljnije razgraničenje (segmentacija) dijela navedenih poligonskih setova podataka biti će moguće tek nakon ciljanih istraživanja.



Slika 4. Područja istih raspona dubina u priobalnim vodama



Slika 5. Područja ujednačenih karakteristika plime u priobalnim vodama

U ovom radu će se, zbog ograničenog opsega, prikazati samo poligonski setovi područja istih raspona dubina i ujednačenih karakteristika plime (slike 4 i 5) prikazani na službenoj karti 101 Hrvatskog hidrografskog instituta, dok će se za ostale pokazatelje dati samo statistički pregled po podkategorijama analiziranih hidrografskih karakteristika.

Prema rezultatima provedene generalizacije može se zaključiti da je na samo 8% površi-

ne priobalnog mora dubina manja od 20 m, a tek oko 5% površine priobalnog mora ima dubinu preko 100 m (slika 3).

Brzina strujanja mora je uglavnom između 5 i 10 cm/s, a manja, sa stajališta očuvanja kakvoće, nepovoljna brzina izmjene mora je uglavnom vezana za manje zaljeve i uvale i vezana je tek uz 2% ukupne površine priobalnog mora.

Prosječna temperatura mora između 16°C i 18°C karakteristična je za preko 80% površine priobalnog mora.

90% priobalnog mora ima salinitet veći od 37, a 99% priobalnog mora ima amplitudu manju od 0.5 m odnosno ima vrlo ujednačen plimni režim.

ZAKLJUČAK

Na osnovi odredbi Okvirne direktive o vodama i Zakona o vodama, Pomorskog zakonika i Zakona o hidrografskoj djelatnosti Republike Hrvatske, izrađen je prijedlog razgraničenja "priobalnih voda" odnosno priobalnog mora Republike Hrvatske. Kartografska podloga za razgraničenje bila je službena karta 101 Hrvatskog hidrografskog instituta – Jadransko more: Besselov elipsoid, Mercatorova projekcija – konstrukcijska širina 43° 00' 00" N, mjerila 1:800 000. Ukupna površina priobalnog mora iznosi 13.842 km^2 i dio su jadranskog vodnog područja.

Generalizacija hidrografskih karakteristika priobalnih voda Jadranskog mora u Republici Hrvatskoj izrađena je kompilacijom postojećih prostornih podataka. Detaljnije razgraničenje (segmentacija) poligonskih setova podataka potrebnih za preciznije analize i ocjenu stanja priobalnih voda, biti će moguće tek nakon provedenih ciljanih istraživanja.

LITERATURA

[1] Baza podataka Hrvatskog hidrografskog instituta.

[2] Convention on the Territorial Sea and the Contiguous Zone (1958): *http://www.un.org/en/law/*

[3] European Parliamentand European Council (2000): *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field o water policy (Water Framework Directive),* Official Journal of the European Communities, L. 327, Luxembourg.

[4] Gržetić, Z., Barić Punda, V, Filipović, V. (2010): *O granicama u sjevernom Jadranu (1948-2009) s posebnim osvrtom na kronološki kartografski prikaz*, Poredbeno pomorsko pravo, god. 49, broj 164, 19-72.

[5] Zakon o vodama (NN153/2009)

[6] Pomorski zakonik (NN 181/2004).

[7] United Nations Convention on the Law of the Sea (1982): *http://www.un.org/en/law/*

[8] Zakon o hidrografskoj djelatnosti (NN 68/98, 163/03).

AUTORI

doc.dr.sc. Nenad Leder[a]
mr.sc. Sanja Barbalić[b]
Valerija Filipović, dipl.ing[a]
Darko Barbalić, dipl.ing.[b]

[a] Hrvatski hidrografski institut, Zrinsko-Frankopanska 161, 21000 Split, Hrvatska, *nenad.leder@hhi.hr*

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, *sanja.barbalic@voda.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.55.

KLIMATSKE PROMJENE, PORAST RAZINE MORA NA HRVATSKOJ OBALI JADRANA?

Srđan Čupić, Nenad Domijan, Hrvoje Mihanović, Marko Mlinar, Nenad Leder, Zvonko Gržetić

SAŽETAK: Na mareografskim postajama Rovinj, Split i Dubrovnik mjerenja denivelacije razine mora obavljaju se više od pedeset godina. Statistička analiza izmjerenih podataka u razdoblju između 1955. i 2009. temeljena na metodi linearne regresijske analize srednjih godišnjih vrijednosti visina razine mora ukazuje na trend porasta razine mora od 0.5 do 0.8 mm/godinu. Pozitivan trend globalnog rasta razine mora se uočava i u Mediteranu za razdoblje od 1992. do 2000. godine, te je procijenjen na 1.5 mm/godini. Najnovija satelitska mjerenja razine mora u svjetskim oceanima (od 1993. godine) ukazuju na trend porasta visine razine mora od oko 3 mm/godinu. Ipak, treba naglasiti da promjene razine mora nisu homogene na cijeloj Zemlji. Mjerenja na hrvatskoj obali Jadrana nakon 1993. godine također ukazuju da se trend porasta povećava te približno iznosi od 3 do 5 mm/godinu za Split i Dubrovnik. Analiza mjerenja s mareografskih postaja omogućava određivanje relativnih promjena visine razine mora. Tijekom proteklog desetljeća započela su i kontinuirana GPS mjerenja vertikalnih pomaka tla na fiksnim točkama (između ostalog i na mareografskoj postaji Split luka od 2004. godine). Ta će mjerenja omogućiti procjenu apsolutnih trendova promjene visine razine mora na istočnoj obali Jadrana.

KLJUČNE RIJEČI: Jadransko more, srednja razina mora, mareografska postaja, Thalimedes, CGPS.

CLIMATE CHANGE, SEA LEVEL RISE ALONG THE CROATIAN ADRIATIC COAST?

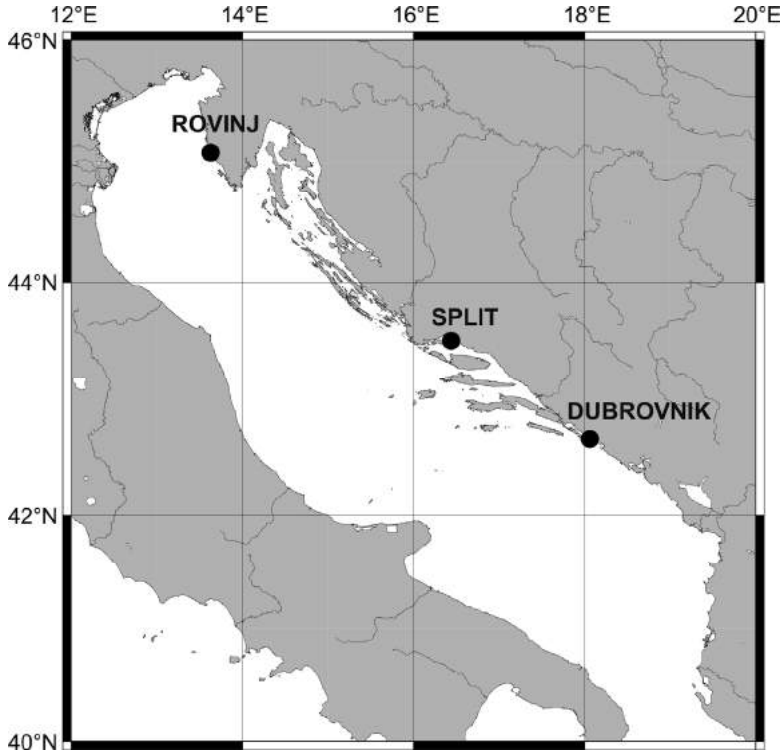
SUMMARY: Sea level measurements at tide-gauge stations located in Rovinj, Split and Dubrovnik are performed for more than fifty years. Statistical analysis of data measured from 1955 to 2009, based on linear regression analysis of annual mean sea level, indicates a trend of rising sea levels from 0.5 to 0.8 mm/year. This positive trend of global sea-level rise in the Mediterranean is shown as well in the most of the Mediterranean Seas from 1992 to 2000 and estimated to be 1.5 mm/year. Moreover, recent satellite measurements of sea level in the world's oceans (since 1993) indicate a trend of sea level rise of about 3 mm/year, approximately. However, it should be noted that changes in sea level are not homogeneous across the Earth. Measurements on the Croatian Adriatic coast since

1993 indicate that the trend increases and it ranges from 3 to 5 mm/year for Split and Dubrovnik. Analysis of the results from tide gauge stations enables determination of the relative changes in sea level rise. During the past decade CGPS (Continuous Global Positioning System) measurements of vertical land displacements on the fixed points have begun (including tide gauge station since 2004). These measurements will allow assessment of trends in absolute sea level changes on the eastern Adriatic coast.

KEYWORDS: Adriatic Sea, mean sea level, tide gauge station, Thalimedes, CGPS.

1. UVOD

Na teritoriju Republike Hrvatske postoji dugogodišnja tradicija mjerenja visine razine mora na mareografskim postajama u Dubrovniku, Splitu, Zadru, Bakru i Rovinju (HHI – Split, 1955 – 2009). Mjerenja u Splitu su započela 1926. godine, no izvorni podaci su izgubljeni tijekom 2. svjetskog rata, a ostali su sačuvani samo mjesečni i godišnji srednjaci. Mareograf u Bakru je operativan od 1929. godine, dok su kontinuirana mareografska mjerenja u Splitu ponovno započela 1955. godine, kada su uspostavljeni i mareografi u Dubrovniku i Rovinju. Konačno, kontinuirana mjerenja razine mora na sadašnjoj lokaciji mareografa u Zadru su započela 1991. godine.

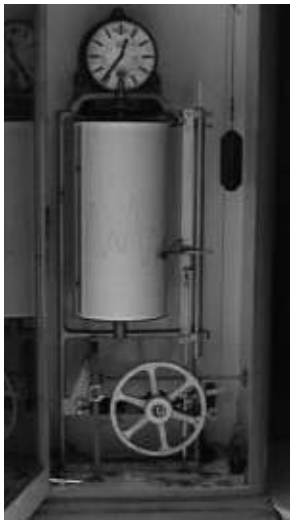


Slika 1. Mareografske postaje s dugogodišnjom tradicijom mjerenja denivelacije razine mora, čiji podaci su analizirani u ovom radu.

Prikupljeni podaci mjerenja visine razine mora koriste se u brojnim znanstvenim istraživanjima, za regulaciju plovidbe u lukama i sigurnost plovidbe na moru, izradu pomorskih navigacijskih karata i planova. Ovi podaci značajni su i u razvoju oceanografskih modela nužnih za prognoziranje iznenadnih poplavljivanja priobalnih područja na istočnoj obali Jadrana, ali i u procjeni globalnog porasta srednje razine mora. Zbog velikog interesa javnosti podaci o mjerenju visine razine mora dobivaju sve više na važnosti u smislu procjene trenda porasta razine mora. Za razliku od satelitskih mjerenja visina razine mora, kod kojih se mjerenja visine razine mora daju u odnosu na globalni referenti sustav, podaci dobiveni mareografskim mjerenjima odnose se na fiksnu točku na Zemljinoj površini (Pugh, 2004). Ovakvim mjerenjima mogu se odrediti relativni trendovi promjena razine mora koji u sebi uključuju i efekte vertikalnog pomicanja tla. Da bi se oni uklonili mareografske postaje opremaju se uređajima koji kontinuirano bilježe vertikalnu brzinu pomaka tla tzv. CGPS (Continuous Global Positioning System) uređaji (Mihanović i drugi, 2006.). Dugogodišnja mjerenja ovim uređajima (minimalno deset godina) omogućit će precizan izračun apsolutnih promjena visine razine mora, analizu trenda rasta razine mora te procjenu ugroženosti i rizika od poplavljivanja niskih područja hrvatske obale Jadranskog mora. U ovom radu će biti prikazani rezultati regresijske analize višegodišnjih mjerenja visine razine mora na temelju godišnjih srednjaka visina razine mora s mareografa u Dubrovniku, Splitu i Rovinju (Slika 1).

2. MAREOGRAFSKA MJERENJA

Mareografske postaje Hrvatskog hidrografskog instituta (HHI) opremljene su s analognim mareografima tipa A.Ott – Kempten (Slika 2).



Slika 2. Analogni mareograf A.Ott – Kempten
postavljen na mareografskim postajama HHI-a.

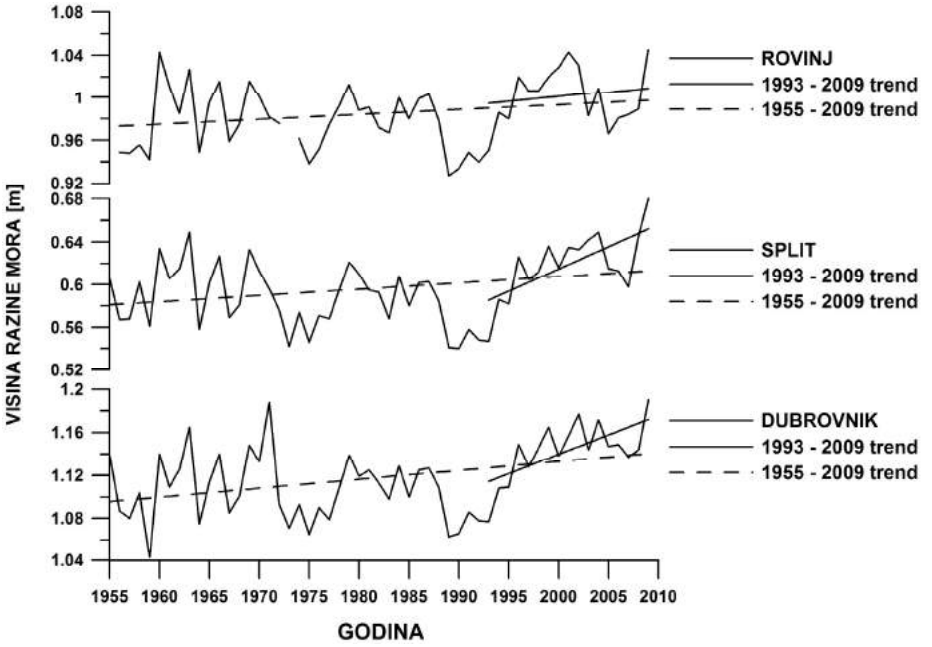
Ovaj mareograf radi s odnosom registracije 1:5, a mjeri promjene razine mora u zdencu povezanom s vanjskim morem spojnom cijevi. Sustav zdenca i spojne cijevi guši kratkoperiodičke površinske valove, pa su u sustav propuštene samo dugoperiodičke oscilacije (period veći od 1 minute) koje se mehanički bilježe na papir. Točnost mareografskih mjerenja je ±1 cm, a visina razine mora bilježi se od mareografske nule (MN). MN je zamišljena ravnina čiji je položaj točno određen udaljenošću od osnovnog mareografskog repera (TGBM). Toliko je zaronjena u more da do nje ne mogu doseći ni najniže vode, a odgovara nultom položaju pisaljke (UNESCO, 2006). Tijekom 2003. godine mareografske postaje modernizirane su postavljanjem Thalimedes analogno/digitalnim (A/D) pretvaračima, centralnom jedinicom s akumulatorskim ili stalnim napajanjem te GSM (Global System for Mobile Communications) modemom Siemens TC35i (Slika 3).

Slika 3. OTT Thalimedes instrument s A/D pretvaračem postavljen na mareografskim postajama HHI-a

Modem se uključuje nekoliko puta dnevno po 20 minuta (Vilibić i drugi, 2005). Thalimedes je podešen da bilježi minutne podatke i sprema ih u radnu memoriju u digitalnom obliku. Računalo koje je smješteno u HHI-u poziva modeme na postajama te prikuplja podatke. Obrada mareografskih podataka obavlja se u HHI-u, uklanjanjem oscilacija perioda manjih od dva sata primjenom digitalnog filtra. S druge strane, digitalizacijom se dobivaju vrijednosti razine mora s jednosatnim intervalom uzorkovanja. Ovi podaci omogućavaju određivanje dnevnih, mjesečnih i godišnjih srednjaka te mjesečnih i godišnjih ekstrema razine mora. Rezultati obrade se objavljuju u publikacijama HHI-a "Izvješće o mareografskim mjerenjima na istočnoj obali Jadrana". Od 1955. godine se kontinuirano dostavljaju u Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) u Velikoj Britaniji te su dostupni domaćoj i međunarodnoj zajednici (Čupić i drugi, 2006). Važni su za sigurnost i regulaciju plovidbe, određivanje referentnih ploha pri hidrografskim i geodetskim premjerima te u znanstvenim analizama globalnog porasta razine mora. Mareografska postaja u Splitu opremljena je 2004. godine CGPS stanicom.

3. TREND RAZINE MORA NA HRVATSKOJ OBALI JADRANA

U svrhu analize trenda razine mora na hrvatskoj obali Jadrana korišteni su podaci s mareografskih postaja u Rovinju, Splitu i Dubrovniku (Slika 1). Sve postaje imaju kontinuirani niz mjerenja duži od 50 godina. Na slici 4. prikazane su godišnje vrijednosti srednje razine mora za ove postaje s izračunatim pripadajućim linearnim trendovima za cijelo razdoblje mjerenja. Ispitivanje porasta srednje razine mora obavljeno je primjenom metode linearne regresijske analize. Ovo je najčešće korištena statistička metoda koja analizira ovisnosti jedne varijable o jednoj ili više drugih varijabli. Statistička analiza srednjih godišnjih vrijednosti visina razine mora od 1955. do 2009. godine ukazuje na trend porasta razine mora od 0.5 do 0.8 mm/godinu (Tablica 1). Primjenom Mann-Kendallovog neparametarskog testa značajnosti trendova (npr. Gilbert, 1987), utvrđeno je da su pozitivni trendovi bili značajni u Splitu i Dubrovniku na razini od 5%.

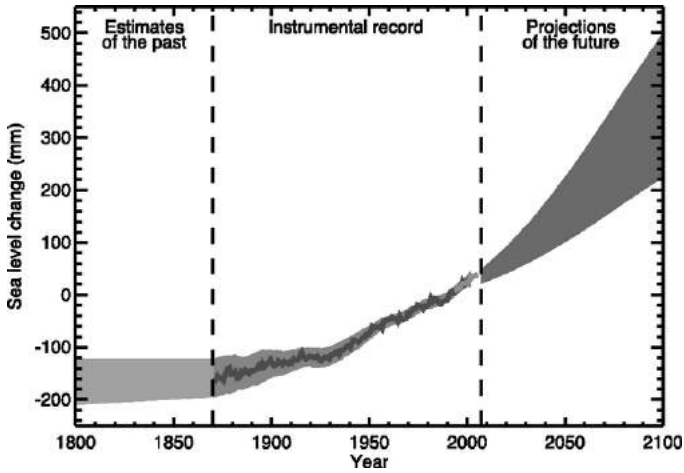


Slika 4. Godišnje vrijednosti srednje razine mora s linearnim trendovima porasta

Postaja	Trend (mm/god) (1955 – 2009)	Standardna greška	Z	$Z_{0.05}$
Rovinj	0.45	0.26	1.87	1.96
Split	0.59	0.27	2.12	1.96
Dubrovnik	0.83	0.27	2.93	1.96

Tablica 1. Trendovi, standardne greške te procjene statističke značajnosti trendova na temelju Mann-Kendallovog neparametarskog testa za razdoblje od 1955. – 2009. godine na mareografskim postajama u Dubrovniku, Splitu i Rovinju.

Međutim, najnovija satelitska mjerenja razine mora u svjetskim oceanima (od 1993. godine) ukazuju na trend porasta visine razine mora od 3 mm/godinu (IPCC, 2007). Nadalje, Fenoglio-Marc i Martinez-Garcia (2001) su iz satelitskih i mareografskih mjerenja procijenili trend porasta razine mora od 1.5 mm/god za razdoblje između 1992. i 2000. Analizirajući izmjerene vrijednosti srednje razine mora nakon 1993. godine moguće je uočiti trend ubrzanog porasta srednje razine mora koji je posebno izražen u Splitu (4.2 mm/godinu) i Dubrovniku (3.6 mm/godinu) sa značajnim vrijednostima Mann-Kendallovog neparametarskog testa značajnosti na razini 5% (Tablica 2.). Za mareografsku postaju Rovinj je također zabilježen povećani trend porasta razine mora (0.9 mm/godinu), međutim on nije statistički značajan. Ukoliko bi se ovakav trend na srednjem i južnom Jadranu nastavio, to bi značilo porast razine mora od oko 40 cm tijekom sljedećih sto godina, što je u skladu s predviđanjima IPCC-a, koji procjenjuju da će globalni porast razine mora od 2000. do 2100. iznositi između 20 i 50 cm (Slika 5). Ipak, treba naglasiti da promjene visina razine mora nisu homogene na cijeloj Zemlji, te da ovdje nisu detaljno analizirani razni efekti koji utječu na promjene visine razine mora kao što su povećanje temperature zraka i temperature mora te tlaka zraka, sterički efekt, oscilacije u bilanci vode na površini mora, plimni efekti, vertikalno pomicanje tla te neki lokalni (meteorološki) efekti (Orlić i Pasarić, 1994; Pugh, 2004).



Slika 5. Predviđanja IPCC (2007) o porastu srednje razine mora za 100 godišnji period od 2000. do 2100. godine.

Postaja	Trend (mm/god) (1993 – 2009)	Standardna greška	Z	$Z_{0.05}$
Rovinj	0.91	1.37	0.95	1.96
Split	4.15	1.14	2.68	1.96
Dubrovnik	3.62	1.04	2.27	1.96

Tablica 2. Trendovi, standardne greške te procjene statističke značajnosti trendova na temelju Mann-Kendallovog neparametarskog testa za razdoblje od 1993. – 2009. godine na mareografskim postajama u Dubrovniku, Splitu i Rovinju.

U analizi podataka visina razine mora važno je istaknuti da je potrebno promatrati dovoljno duge nizove podataka, kako bi se dobila preciznija slika o porastu razine mora. Naime, analizirajući polustoljetne podatke uočavaju se dugoperiodički ciklusi u vremenskim nizovima srednjih godišnjih vrijednosti visina razine mora (Slika 4). Također, bitno je napomenuti da bi za procjenu apsolutnog trenda razine mora trebalo imati istovremene dugogodišnje nizove mjerenih podataka s CGPS stanica (minimum 10 godina). Tada bi se podaci dobiveni na mareografskim postajama mogli korigirati te bi se dobili podaci o apsolutnom trendu razine mora.

ZAKLJUČAK

Globalni porast razine mora u centru je zanimanja kako šire javnosti tako i brojnih stručnjaka koji se bave ovom tematikom u Hrvatskoj. Klimatske promjene i njihov utjecaj na porast razine mora na hrvatskoj obali Jadrana moguće je pratiti na nekoliko mareografskih postaja, a u ovom radu su prikazani rezultazi analize za Rovinj, Split i Dubrovnik. Rezultati dobiveni linearnom regresijskom analizom godišnjih srednjaka razine mora upućuju na statistički značajan trend porasta razine mora u Splitu i Dubrovniku, a koji je nakon 1993. godine i povećan u odnosu na cjelokupno razdoblje mjerenja (0.6 mm/god u Splitu te 0.8 mm/god u Dubrovniku za radoblje od 1955. do 2009.; 4.2 mm/god u Splitu te 3.6 mm/god u Dubrovniku nakon 1993. godine). To je u suglasnosti sa satelitskim mjerenjima i s prognozama IPCC-a na stogodišnjem periodu, koje predviđaju porast srednje razine mora od 20 do 50 cm. Treba naglasiti da analiza promjena srednjih godišnjih vrijednosti visina razine mora metodom linearne regresije ne odgovara na pitanje je li utvrđeni trend ovisi o duljini niza, odnosno postoje li u nizu i neke nelinearnosti. Isto tako, na porast razine mora utječu razni efekti (povećanje temperature mora i zraka te tlaka zraka, sterički efekt, oscilacije u bilanci vode na površini mora, plimni efekti, vertikalno pomicanje tla te neki lokalni meteorološki efekti) koji ovdje nisu detaljno raščlanjivani.

LITERATURA

[1] Čupić, S., Domijan, N., Mihanović, H., Leder N., Strinić, G., Gržetić, Z., (2006): *Five decades of continuous tide gauge measurements at Split – harbour (1956 – 2006)*, GIS Applications and Development (Urednik: Kereković, D), Hrvatski informatički zbor – GIS Forum, Zagreb, 67-73.

[2] Fenoglio – Marc, L., Martinez – Garcia, M., (2001): *Sea level trends in the Mediterranean Sea from altimetry and tide gauge data*, Final Workshop of COST Action 40, Book of Abstracts (Urednici: Vilibić, I., Plag, H.-P., Orlić, M.), Hydrographic Institute of the Republic of Croatia, Split, 114 – 117.

[3] Gilbert, R. O., (1987): *Statistical methods for environmental pollution monitoring*, John Wiley & Sons, New York, pp. 321.

[4] Hrvatski hidrografski institut – Split; *Izvješće o mareografskim mjerenjima na istočnoj obali Jadrana 1955. – 2009.*

[5] IPPC (2007): *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Volumes 1-3, Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, 10 February 2007, Paris, pp. 21.

[6] Mihanović, H., Domijan, N., Leder, N., Čupić, S., Strinić, G., Gržetić, Z., (2006): *CGPS station collocated at Split tide gauge*, GIS Applications and Development (Urednik: Kereković, D), Hrvatski informatički zbor – GIS Forum, Zagreb, 55-61.

[7] Orlić, M., Pasarić, M., (l994): *Vodostaj Jadranskog mora i globalne klimatske promjene*, Pomorski zbornik, 32, Rijeka, 481–501.

[8] Pugh, D., (2004): *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*, Cambridge University Press, United Kingdom, pp. 265.

[9] UNESCO (2006): *Manual on sea level measurements and interpretation: Basic procedures*, IOC Manuals and Guides 14, pp. 80.

[10] Vilibić, I., Orlić, M., Čupić, S., Domijan, N., Leder, N., Mihanović, H., Pasarić, M., Pasarić. Z., Srdelić, M., Strinić, G., (2005): *A new approach to sea level observations in Croatia*, Geofizika, Vol. 22, 21-57.

AUTORI

Srđan Čupić, prof. fiz. [a]
dr. sc. Nenad Domijan [a]
dr. sc. Hrvoje Mihanović [a]
Marko Mlinar, dipl. ing. [a]
doc. dr. sc. Nenad Leder [a]
doc. dr. sc. Zvonko Gržetić [a]

[a] Hrvatski hidrografski institut - Split, Zrinsko-Frankopanska 161, 21000 Split, Hrvatska, srdjan.cupic@hhi.hr

R 1.56.

PRELIMINARNI REZULTATI NADZORNOG MONITORINGA PRIJELAZNIH I PRIOBALNIH VODA REPUBLIKE HRVATSKE PREMA OKVIRNOJ DIREKTIVI O VODAMA EU (2000/60/EC)

Grozdan Kušpilić, Robert Precali, Vlado Dadić, Dagmar Šurmanović, Marija Marijanović Rajčić

SAŽETAK: Okvirna direktiva o vodama EU (2000/60/EC) najvažniji je pravni dokument EU u sferi upravljanja vodama kojom je uspostavljen novi okvir u području upravljanja, zaštite i poboljšanja kvalitete vodenih resursa u čitavoj Europskoj zajednici. Republika Hrvatska je, kao zemlja kandidatkinja za punopravnim članstvom u EU, prihvatila sve obaveze koje proizlaze iz Okvirne direktive o vodama te su Hrvatske vode izradile nacionalni plan upravljanja vodnim područjima koji uključuje uspostavu monitoringa svih kategorija površinskih voda. Monitoring stanja prijelaznih i priobalnih voda Republike Hrvatske prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama uspostavljen je tijekom 2009. i 2010. kao rezultat provedenih postupaka tipizacije prijelaznih i priobalnih voda; određivanja položaja i veličine vodnih tijela; IMPRESS analize vodnih tijela; nominacije kandidata „*Jako promijenjenih vodnih tijela*" i određivanja zaštićenih područja unutar *vodnih tijela.*

KLJUČNE RIJEČI: Prijelazne vode, priobalne vode, monitoring,

PRELIMINARY RESULTS OF SURVEILLANCE MONITORING OF CROATIAN TRANSITIONAL AND COASTAL WATERS ACCORDING TO THE EU WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC)

SUMMARY: The **EU Water Framework Directive** (2000/60/EC) (WFD) is the most important EU legal document in the sphere of water management. This directive is set to create a new frame in the field of management, protection and improvement of water resources quality in the entire European Union. As a full EU membership candidate country, Republic of Croatia has accepted all of the obligations that are arisen from WFD. Consequently, Croatian Waters constructed a national plan for water resources management which includes implementation of surveillance monitoring of all surface water categories. The surveillance monitoring of chemical and ecological states of transitional and coastal waters in Republic of Croatia, in accordance with the demands of WFD, came

into action during the years 2009 and 2010 as a result of conducted typology procedures of transitional and coastal waters; determination of the position and size of water bodies; IMPRESS analysis of water bodies; nomination of candidates for "*Heavily Modified* **Water Bodies**" and determination of protected areas among water bodies. Preliminary results of surveillance monitoring of single biological quality elements and priority substances show a good ecological and chemical state concerning most of the water bodies. Poor quality state has only been found for certain quality elements among water bodies where their hydromorphological state has also been distorted.

KEY WORDS: Transitional waters, coastal waters, WFD

1. UVOD

Odlukom Europskog Parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. godine (European Parliament and European Council, 2000) usvojena je Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EC) (ODV) kojom je uspostavljen zajednički okvir za djelovanje Europske zajednice na području politike voda, što u prvom redu podrazumijeva:

1) Uspostavu integriranog vodnog gospodarstvo temeljenog na riječnim slivovima;
2) Promociju razborite uporabe vode kroz ispravno definiranje cijene vode;
3) Povezivanje s drugim sektorima;
4) Sudjelovanje javnosti u svim fazama Direktive i
5) Sveobuhvatnu zaštitu voda i postizanje dobre kakvoće ('dobrog stanja') voda do 2015. godine.

Republika Hrvatska je, kao zemlja kandidatkinja za punopravnim članstvom u EU, prihvatila sve obaveze koje proizlaze iz Okvirne direktive o vodama te su Hrvatske vode, obzirom na obavezu iz točke 5 (sveobuhvatna zaštita voda i postizanje dobrog stanja voda do 2015. godine), izradile nacionalni plan upravljanja vodnim područjima koji uključuje uspostavu nadzornog monitoringa svih kategorija površinskih voda. Prijedlog i uspostava nadzornog monitoringa kemijskog i ekološkog stanja u području prijelaznih i priobalnih voda Jadranskog sliva povjeren je Institutu za oceanografiju i ribarstvo iz Splita (IOR) te Institutu „R.Bošković" – Centar za istraživanje mora, Rovinj (CIM).

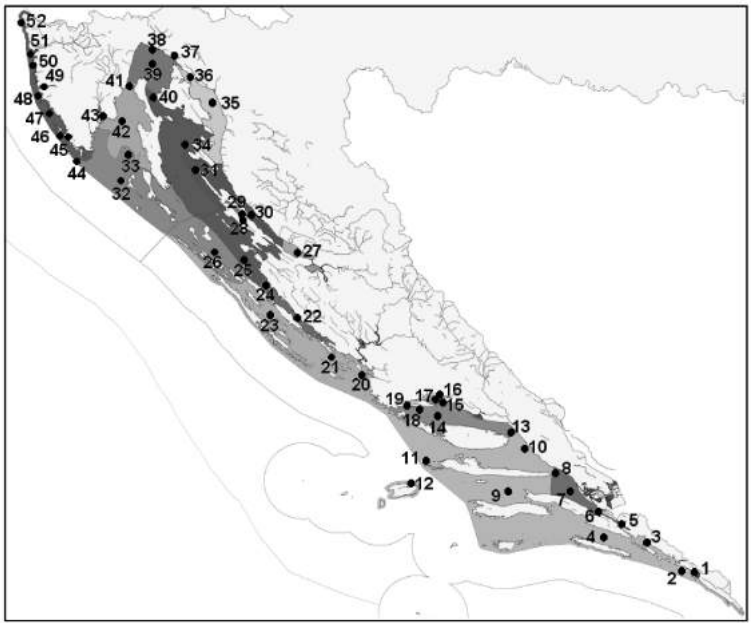
Slijedeći smjernice vodiča zajedničke implementacijske strategije (CIS Guidance, 2003) stručnjaci IOR-a i CIM-a su kao prvi korak proveli postupak tipizacije prijelaznih i priobalnih voda Jadranskog sliva (Kušpilić i drugi, 2006; 2008) (Precali i drugi, 2008). Za tipizaciju odabran je sustav „B" kojim su, uz obavezne i izborne čimbenike (raspone saliniteta, sastav supstrata i dubine vodenog stupca), prijelazne vode Jadranskog sliva podijeljene u 6 tipa, a priobalne vode u 5 tipa. Nakon postupka tipizacije provedeno je određivanje položaja i veličine vodnih tijela u području prijelaznih i priobalnih voda (Kušpilić i drugi, 2011a). Uvažavajući specifičnosti jadranskog slivnog područja kao i definiciju vodnog tijela kao jasno određenog i značajnog elementa kategorije površinske vode u području prijelaznih voda određeno je ukupno 29 vodnih tijela, a u području priobalnih voda 23 vodna tijela. Za sva vodna tijela provedena je IMPRESS analiza kojom su obuhvaćeni svi raspoloživi podaci o pritiscima na pojedina vodna tijela kao i o odzivu ekosustava na njih te je na osnovi ove analize procijenjen rizik nepostizanja dobrog kemijskog i ekološkog stanja u njima. Za vodna tijela u kojima je ustanovljeno da su, uslijed

ljudske djelatnosti, značajno promijenjena prirodna obilježja i stoga su u riziku ne postizanja dobrog stanja predložena je kategorija *„Jako promijenjenih vodnih tijela"*. Ovakav status predložen je za 8 vodnih tijela u području prijelaznih voda te za 4 vodna tijela u području priobalnih voda.

2. USPOSTAVA I PRELIMINARNI REZULTATI NADZORNOG MONITORINGA PRIJELAZNIH I PRIOBALNIH VODA JADRANSKOG SLIVA

Cilj nadzornog monitoringa je bio uspostaviti sustavan i sveobuhvatan pregled ekološkog i kemijskog stanja unutar cjelovitog vodnog područja prijelaznih i priobalnih voda Republike Hrvatske. Za njegovu provedbu određene su postaje i frekvencije istraživanja za svaki biološki element ekološke kakvoće (Fitoplankton, Makroalge, Morske cvjetnice, Bentoski beskralješnjaci; Ribe), podržavajuće fizikalno-kemijske parametre kao i za prioritetne tvari.

Kod bioloških elemenata kakvoće rabili smo slijedeće parametre: biomasu fitoplanktona izraženu koncentracijom klorofila *a*; prevladavajući sastav zajednica makroalga u mediolitoralu i gornjem infralitoralu do 1 metar dubine (Ballesteros i drugi, 2007); pokrovnost i morfometrijska obilježja vrste *Posidonia oceanica* te kemijski sastav uzoraka epifita (organski ugljik, ukupni dušik) i rizoma (željezo, mangan, olovo, kadmij, nikalj, bakar, cink, fosfor, sumpor, ugljikohidrati, izotopi $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ i $\delta^{34}S$); udjela ekoloških grupa u sastavu faune bentoskih beskralješnjaka; sastav i abundancija ihtiofaune te zastupljenosti indikatorskih porodica ili rodova. Od podržavajućih fizikalno-kemijskih parametara istražene su termohaline osobine vodenog stupca, prozirnost, udjeli otopljenog kisika kao



Slika 1. Postaje monitoringa BEK Fitoplankton u vodnim tijelima priobalnih voda

i koncentracije hranjivih soli. Analiza uzoraka priobalnih i prijelaznih voda na koncentracije prioritetnih tvari obavljene su u odnosu na 41 element ili spoj iz grupe teških metala, hlapljivih organskih spojeva ugljika, pesticide i PAH-ova).

Primjer odabira postaja za monitoring biološkog elementa Fitoplankton (uključujući podržavajuće fizikalno-kemijske parametre) u vodnim tijelima priobalnih voda (Tablica 1) prikazan je na slici 1.

Vodno tijelo	**Geografski položaj vodnog tijela**	**Postaje monitoringa**
O412-ZOI	Zapadna obala istarskog poluotoka	44, 46, 47, 48, 50, 51, 52
O412-PULP	Luka Pula	45
O413-LIK	Limski kanal	49
O413-RAZ	Unutrašnji dio Raše između prijelazne vode P3_3-1 i priobalne O423-1	43
O413-BAZ	Bakarski zaljev	37
O413-PAG	Uvala naselja Pag	28, 29
O413-PZK	Pašmanski i Zadarski kanal	22, 24
O413STLP	Luka Split	15
O422-SJI	Sjeverni Jadran od južnog dijela istarskog poluotoka do Dugog Otoka	26, 32, 33
O422-KVV	Dio Kvarnerića i dio Velebitskog kanala	30, 31
O422-VIS	Otoci Vis i Biševo	12
O423-KVA	Kvarner	41, 42
O423-RIZ	Riječki zaljev	39
O423-RILP	Riječka luka	38
O423-VIK	Vinodolski kanal	35, 36
O423-KVP	Od Kvarnerića do Paškog kanala	25, 34, 40
O423-KOR	Kornati i šibensko priobalje	20, 21, 23
O423-BSK	Brački i Splitski kanal	13, 14, 16, 18
O423-MOP	Od Prevlake do Rta Ploče uključujući područja Mljetskog, Lastovskog, Korčulanskog, Hvarskog i Viškog kanala	2, 3, 4, 9, 10, 11
O313-JVE	Južni dio Velebitskog kanala	27
O313-KASP	Sjeverni rub Kaštelanskog zaljeva, Trogirski zaljev, Marinski zaljev	17, 19
O313-MNE	Cijeli Malostonski zaljev i veći dio Neretvanskog kanala	5, 6, 7, 8
O313-ŽUC	Župski zaljev-Cavtat	1

Vodna tijela označena italic-om predloženi su kao kandidati jako izmijenjenih vodnih tijela

Tablica 1. Geografski položaj vodnih tijela u području priobalnih voda

Provedba monitoringa pojedinih bioloških elemenata kakvoće, za određivanje ekološkog stanja prema zahtjevima ODV-a, uslijedila je u razdoblju od 2008. do 2010. godine, a prioritetnih tvari za određivanje kemijskog stanja u 2010. godini.

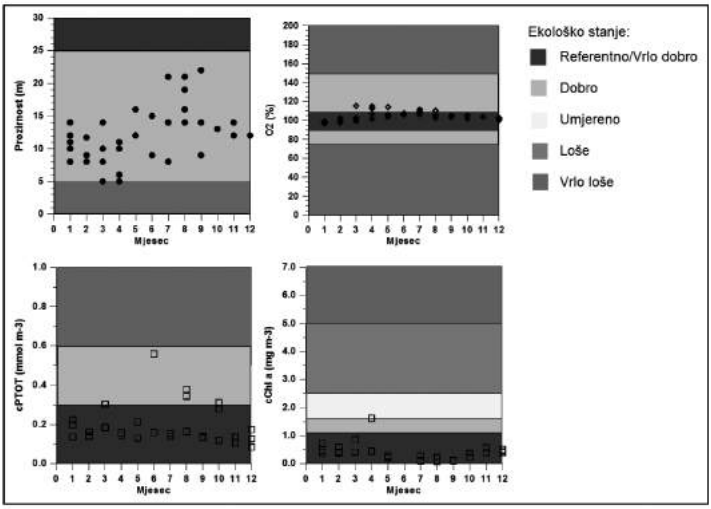
Određivanje ekološkog i kemijskog stanja provedeno je prema specifičnim granicama klasa pojedinih bioloških elemenata kakvoće (Kušpilić i drugi, 2011a), odnosno prema graničnim koncentracijama za prioritetne tvari. Primjer granica klasa za *BEK Posidonia oceanica* u priobalnim vodama dat je u tablici 2, pri čemu se omjer ekološke kakvoće (EQR) nalazi u rasponu od 0 do 1. Budući da je *Posidonia oceanica* osjetljiva vrsta na antropogene poremećaje koja nestaje u poremećenim uvjetima okoliša u kojima još uvijek opstaje specifična makrofauna, smatra se da je "vrlo loše" stanje ono u kojem nije moguć njen opstanak. Dakle, gdje god je moguć opstanak livade posidonije, ekološko stanje je bolje od "vrlo lošeg", kojem je proizvoljno dodijeljen raspon EQR vrijednosti od 0-0,099. Preostala skala podijeljena je na četiri jednaka dijela

Ekološko stanje	Omjer ekološke kakvoće (EQR)
Visoko ili referentno	0.775-1
Dobro	0.550-0.774
Umjereno	0.325-0.549
Loše	0.1-0.324
Vrlo loše	*Posidonia oceanica* nestala iz područja

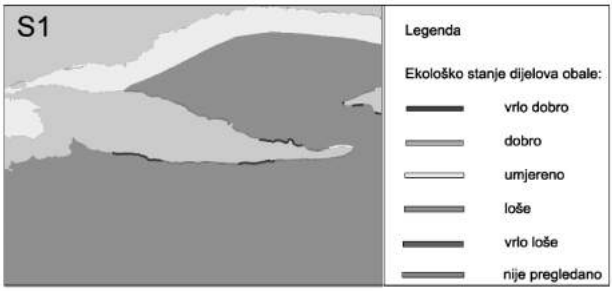
Tablica 2. Granice klasa za BEK Posidonia oceanica u priobalnim vodama

Preliminarni rezultati monitoringa pojedinih bioloških elemenata kakvoće te prioritetnih tvari ukazuju na dobro ekološko i kemijsko stanje u većini vodnih tijela prijelaznih i priobalnih voda, a loše stanje ustanovljeno je jedino za pojedine elemente kakvoće u vodnim tijelima gdje je i njihovo hidromorfološko stanje poremećeno (industrijske zone, luke, kanali) (Kušpilić i drugi, 2011b). Obzirom da su ova specifična vodna tijela predložena kao *kandidati za jako promijenjena vodna tijela*, ODV dozvoljava nepostizanje „barem" dobrog ekološkog stanja svih bioloških elemenata kakvoće, ali zahtjeva dobar ekološki potencijal u njima.

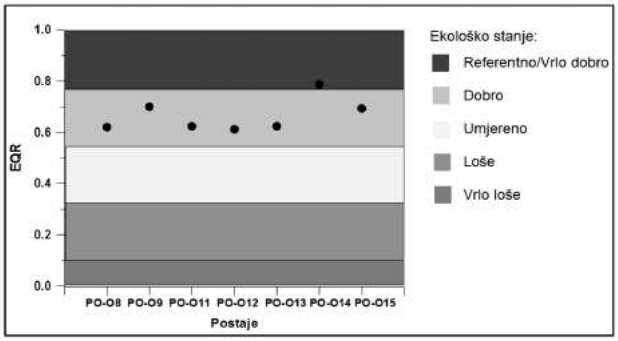
Primjeri ekološkog stanja bioloških elemenata kakvoće u izabranim vodnim tijelima prikazani su na slikama 2 do 4.



Slika 2. Ekološko stanje za vodno tijelo O423-BSK (Brački i splitski kanal) u odnosu nak BEK Fitoplankton i pojedine podržavajuće fizikalno-kemijske parametre



Slika 3. Ekološko stanje za vodno tijelo O423-BSK (Brački i splitski kanal) u odnosu nak BEK Makroalge



Slika 4. Ekološko stanje za vodno tijelo O423-MOP (od Prevlake do Rta Ploče do Splitskog kanala, uključujući područja Mljetskog, Lastovskog, Korčulanskog, Hvarskog i Viškog kanala) u odnosu na BEK Posidonia oceanica

ZAKLJUČAK

Prijelazne i priobalne vode Jadranskog vodnog područja tipizirane su, uz obavezne i izborne čimbenike (raspone saliniteta, sastav supstrata i dubine vodenog stupca), na 6 tipova prijelaznih voda i 5 tipova priobalnih voda. U područjima osnovnih tipova određeno je 52 vodna tijela. Za sva vodna tijela provedena je IMPRESS analiza kojom su obuhvaćeni svi raspoloživi podaci o pritiscima na pojedina vodna tijela kao i o odzivu ekosustava na njih te je na osnovi ove analize procijenjen rizik nepostizanja dobrog stanja. Za sva vodna tijela određene su postaje i frekvencije istraživanja pojedinih bioloških elementa kakvoće, kao i prioritetnih tvari. Preliminarni rezultati monitoringa pojedinih bioloških elemenata kakvoće te prioritetnih tvari ukazuju na dobro ekološko i kemijsko stanje u većini vodnih tijela, a loše stanje ustanovljeno je jedino za pojedine elemente kakvoće u vodnim tijelima gdje je i njihovo hidromorfološko stanje poremećeno.

LITERATURA

[1] European Parliament and European Council, (2000): *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*, Official Journal of the European Communities, L. 327, Luxembourg.

[2] Ballesteros E., Torras X., Pinedo S., Garcia M., Mangialajo L., de Torres M., (2007*): A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive.* Mar. Pollut. Bull. 55, 172-180.

[3] Kušpilić, G., Grbec, B., Morović, M., Matić, F., Ninčević-Gladan, Ž., Antolić, B., Grubelić, I., Nikolić, V., Despalatović, M., Matić Skoko, S., Dulčić, J., Bogner, D., Dadić, V., (2006): *Prijedlog tipova prijelaznih i priobalnih voda na vodnom području dalmatinskih slivova, referentni uvjeti i procjena ekološkog stanja prijelaznih i priobalnih voda rijeke Krke i šibenskog primorja*, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

[4] Kušpilić, G., Grbec, B., Morović, M., Ninčević-Gladan, Ž., Antolić, B., Grubelić, I., Nikolić, V., Despalatović, Matić Skoko, S., Dulčić, J., Bogner, D., Dadić, V., (2008): *Preliminarno određivanje referentnih uvjeta i mjesta prijelaznih i priobalnih voda na vodnom području dalmatinskih slivova*, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

[5] Kušpilić, G., Precali, R., Grbec, B., Morović, M., Ninčević-Gladan, Ž., Nikolić, V., Despalatović, M., Travizi, A., Iveša, Lj., Matić Skoko, S., Dulčić, J., Bogner, D., Dadić, V., (2011a): *Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa i provedba monitoringa stanja voda u prijelaznim i priobalnim vodama jadranskog mora prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama Eu (2000/60/EC), Dio prvi: Karakterizacija i izrada prijedloga programa monitoringa*, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

[6] Kušpilić, G., Precali, R., Grbec, B., Morović, M., Ninčević-Gladan, Ž., Nikolić, V., Despalatović, M., Travizi, A., Iveša, Lj., Matić Skoko, S., Dulčić, J., Bogner, D., Dadić, V., (2011b): *Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa i*

provedba monitoringa stanja voda u prijelaznim i priobalnim vodama jadranskog mora prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (2000/60/EC), Dio drugi: Rezultati monitoringa kemijskog i ekološkog stanja u vodnim tijelima prijelaznih i priobalnih voda uz procjenu njihovog hidromorfološkog stanja, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.

[7] Precali, R., Travizi, A., Iveša, Lj., Matić Skoko, S., Dulčić, J., (2008): *Prijedlog tipova i referentnih uvjeta prijelaznih i priobalnih voda na vodnom području primorsko-istarskih slivova*, Institut R. Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj.

[8] CIS Guidance Document No 2, (2003): *Identification of Water Bodies*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

[9] CIS Guidance Document No 3, (2003): *Analysis of Pressures and Impacts*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

[10] CIS Guidance Document No 5, (2003): *Transitional and Coastal Waters – Typology, Reference Conditions and Classification Systems*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

[11] CIS Guidance Document No 7, (2003): *Monitoring under the Water Framework Directive*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

AUTORI:

dr. sc. Grozdan Kušpilić [a]
Robert Precali, dr. sc. [b]
Vlado Dadić, dr. sc. [a]
Dagmar Šurmanović, mr. sc. [c]
Marija Marijanović Rajčić, mr. sc. [d]

[a] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šet. I. Meštrovića 63, Split, 21000, Hrvatska, kuspilic@izor.hr

[b] Institut „R. Bošković“, Centar za istraživanje mora, Giordano Paliaga 5, Rovinj, 52210, Hrvatska, precali@cim.irb.hr

[c] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šet. I. Meštrovića 63, Split, 21000, Hrvatska, dadic@izor.hr

[d] Hrvatske vode-Direkcija, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, Dagmar.Surmanovic@voda.hr

[e] Hrvatske vode -Direkcija, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Žitnjak b.b., Zagreb, 10000, Hrvatska, Marija.MarijanovicRajcic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.57.

SUSTAV ZA PRAĆENJE POKAZATELJA MORSKOG OKOLIŠA, RIBARSTVA I MARIKULTURE

Vlado Dadić, Damir Ivanković, Anica Juren, Biserka Mladinić, Melita Došen

SAŽETAK: Za potrebe izvješćivanja Agencije za zaštitu okoliša o stanju morskoga okoliša, ribarstva i marikulture Institut za oceanografiju i ribarstvo je razvio interaktivni mrežni sustav s bazama podataka dostupan na mrežnim stranicama: http://www.izor.hr/azo. Osnovni cilj izrade ovog sustava je pojednostavljenje, a time i učinkovitije izvješćivanje o stanju i promjenama pokazatelja morskog okoliša, ribarstva i marikulture u hrvatskom dijelu Jadranskoga mora.

KLJUČNE RIJEČI: pokazatelji, more, ribarstvo, marikultura, interaktivna baza podataka

SYSTEM FOR MONITORING OF MARINE, FISHERIES AND MARICULTURE INDICATORS

SUMMARY: For the purposes of reporting to the Croatian Environment Agency on state of the marine environment, fisheries and aquaculture, Institute of oceanography and fisheries has developed an interactive system with a database available on the website: http://www.izor.hr/azo. The main objective of this system is to simplify, and thus also more effective reporting on the status and changes indicators of the marine environment, fisheries and aquaculture in the Croatian part of the Adriatic Sea.

KEY WORDS: Indicators, sea, fishing, mariculture, an interactive database

1. UVOD

Jadransko more jedno je od najvažnijih prirodnih bogatstava Republike Hrvatske te kao takvo izuzetno gospodarski važno radi čega je bitno pratiti stanje mora i priobalja i djelovati na očuvanju njegove kakvoće i biološke raznolikosti. S obzirom da je jedna od zadaća Agencije za zaštitu okoliša (AZO) prikupljanje, objedinjavanje i obrada podataka o okolišu koji uključuje i područje hrvatskoga dijela Jadrana s Institutom za oceanografiju i ribarstvo (IOR) kao najznačajnijom hrvatskom institucijom za istraživanje mora sklopila je 2007. godine okvirni sporazum o istraživanju, prikupljanju podataka i informacija o moru, priobalju, ribarstvu i marikulturi koje sakuplja više hrvatskih institucija.

Ovom sporazumu je prethodilo više Ugovora između AZO i IOR-a počevši od 2004. godine, kao i zajednički rad na provedbi projekta (ASEMP). Ovo je rezultiralo suradnjom na poslovima prikupljanja podataka i informacija, izračuna i tumačenja pokazatelja o stanju morskoga okoliša s ciljem uspostave Informacijskog sustava mora kao dijelom Informacijskog sustava zaštite okoliša (ISZO) u svrhu osiguravanja djelotvorne provedbe nacionalne politike zaštite okoliša, a za potrebe tijela državne uprave, Vlade Republike Hrvatske i Hrvatskog sabora te drugih institucija, kako unutar tako i izvan Hrvatske.

U tom su cilju predviđeni zajednički poslovi u sklopu različitih aktivnosti među kojima su:

- istraživanje, prikupljanje podataka o stanju mora i priobalja, ribarstvu i marikulturi te njihovom utjecaju na okoliš,
- razvijanje Informacijskog sustava mora i odgovarajućih baza podataka,
- izračun pokazatelja, analize stanja i trendova,
- unaprjeđivanje usporedivosti i kvalitete podataka o okolišu, i
- suradnja s Europskom agencijom za zaštitu okoliša (EEA) u okviru EIONET mreže.

Dugoročni cilj suradnje je praćenje stanja morskog okoliša na osnovu pokazatelja prema DPSIR metodologiji EEA prilagođenoj za hrvatske uvijete. Prema ovoj metodologiji svaka sastavnica okoliša ima određeni broj reprezentativnih pokazatelja tzv. pokretača (driver), pritisak (pressure) stanja (state), utjecaja (impact), odgovor društva (response) na osnovu čijih vrijednosti društvo može poduzeti odgovarajuće mjere u slučaju njihovog nepovoljnog stanja. To je na tragu tzv. „ecosystem approach“ definiranog u Okvirnoj direktivi o morskoj strategiji (56/2008/EC) koja je stupila na snagu u EU 2008. godine. Za potrebe budućeg izvješćivanja prema ovoj direktivi, suradnja je proširena u okviru zahtjeva direktive koliko je to bilo moguće.

Polazište suradnje između AZO i IOR-a na praćenju odabranih pokazatelja o stanju morskog okoliša je da ono treba biti u funkciji praćenja provedbe strateško-planskih dokumenata Republike kao što su npr. Nacionalna Strategija zaštite okoliša (NN-46/02) i Nacionalni plan djelovanja za okoliš (NN-46/02) te međunarodne obveze u razmjeni podataka unutar EIONET mreže Europske agencije za zaštitu okoliša. Ovako prikupljeni, obrađeni i provjereni podatci, kao i izračunati pokazatelji bit će od velike koristi kod izvješćivanja Europske komisije nakon stupanja RH u punopravno članstvo EU.

2. OSNOVNI CILJEVI I ZADATCI U SUSTAVU IZVJEŠĆIVANJA

U sklopu dogovorene suradnje, IOR za potrebe AZO izrađuje veći broj konkretnih aktivnosti vezanih za pokazatelje stanja morskog okoliša, ribarstva i marikulture za područje hrvatskoga dijela Jadranskoga mora među kojim su:

- izrada godišnjih i suradnja na izradi četverogodišnjih izvješća o stanju pokazatelja morskoga okoliša za potrebe nacionalnog izvješćivanja,
- analiza „gap-ova“ s obzirom na „morske pokazatelje“ EEA (*EEA Marine indicator)* te predlaganje dodatnih mjernih postaja za prijelazne, priobalne i morske vode uvažavajući postojanje vodnih tijela i tipova morskih voda,
- izrada tematskih slojeva u GIS formatu („shp”) pokazatelja za koje je to moguće,
- popunjavanje EIONET tablica Marine Data: ME-1 prema „XLS“ predlošku za potrebe

godišnjeg izvješćivanja Europske agencije za zaštitu okoliša,

- godišnja nadopuna podataka vezanih za pokazatelje stanja morskog okoliša, ribarstva i marikulture (tekst, slike, grafovi, tablice i sl.), te tablice Marine Data (ME-1) na način i u formatu usuglašenima s AZO, te
- predlaganje novih i usklađivanje usvojenih pokazatelja stanja morskog okoliša.

U sklopu ovih zadataka redovito se izrađuju godišnja izvješća kao i izvješće za četverogodišnje razdoblje 2004. – 2008. koji uključuju obavljenu obradu i analizu dostupnih podataka, izradu godišnjih izvješća o stanju, trendovima, uzročno-posljedičnim vezama pokazatelja stanja morskog okoliša, te slanje podataka EEA za pokazatelje u sklopu popunjavanja ME-1 tablica.

U Hrvatskoj su predloženi pokazatelji stanja morskog okoliša temeljeni na tzv. EEA „Core set" pokazateljima te dodatnih koji su specifični za Republiku Hrvatsku. Pokazatelji su tijekom godina usklađivani i nadopunjavani, a glavnu grupu čine slijedeći pokazatelji: kvantitativna ocjena ekološkoga stanja prijelaznih, priobalnih i otvorenih voda; biološka kakvoća priobalnih i prijelaznih voda (fitoplankton, ribe, makrofite i makroalge); unos i širenje invazivnih vrsta; fitoplanktonske alge u prijelaznim i priobalnim vodama, cvjetanje toksičnih i štetnih algi te omjer diatomeja i dinoflagelata, kretanje indeksa biomase glavnih gospodarskih vrsta riba, opasne tvari (kovine i pesticidi) u morskom sedimentu i morskim organizmima; stanje eutrofikacije (prozirnost, koncentracija kisika, udio zasićenja kisikom, hranjive soli, klorofil_a); učestalost pojave niskih koncentracija kisika (zasićenje kisikom); suspendirana tvar; termohalina svojstva i gustoća vodenih masa; razina mora; unos opterećenja rijekama; sigurnost prometa, itd. Lista pokazatelja je bazirana na raspoloživim podatcima koje prikupljaju različite hrvatske ustanove koje se bave istraživanjima i praćenjima stanja morskog okoliša, ribarstva i marikulture. Treba napomenuti da se za neke pokazatelje preporučene od strane EEA uopće ne provode mjerenja u hrvatskim vodama Jadranskoga mora ili ih nema na dovoljnom broju prostorno raspoređenih karakterističnih točaka ili s dovoljnom učestalošću. Dodamo li ovome da je u međuvremenu promijenjena zakonska regulativa uzrokovala nemogućnost usporedbe stanja pokazatelja u višegodišnjem razdoblju kao što je pokazatelj „Kakvoća uzgoja morskih organizama i mora u kojem se uzgajaju". Budući da ne postoji jedinstveni propisani program praćenja stanja morskog okoliša kao ni propisan tok podataka prema AZO, izvješća se izrađuju isključivo na osnovu podataka prikupljenih u sklopu drugih projekata vezanih za istraživanje i praćenje stanja morskoga okoliša hrvatskoga dijela Jadranskoga mora kao što su: Hrvatski program praćenja stanja morskog okoliša (projekt Jadran), Projekt praćenja stanja priobalnog mora u dalmatinskom području (projekt Pag-Konavle), Projekt praćenja stanja okoliša na uzgajalištima školjkaša, itd. Zbog toga je osim veće koordinacije između istraživanja u sklopu postojećih programa, naročito potrebno proširiti mrežu postaja na sva karakteristična vodna tijela obalnoga i priobalnoga mora kao i povećati učestalost mjerenja. Na žalost, umjesto toga u zadnje vrijeme se i postojeća istraživanja smanjuju zbog nedostatka sredstava (npr. projekt Jadran) pa će se zasigurno kvaliteta izvješćivanja o stanju pokazatelja morskog okoliša u narednom razdoblju znatno pogoršati.

U razdoblju od 2003. do 2006. godine izvješća su izrađivana koristeći MS EXCEL program što je dovodilo do neujednačenosti izgleda teksta, slika i grafova, te probleme u

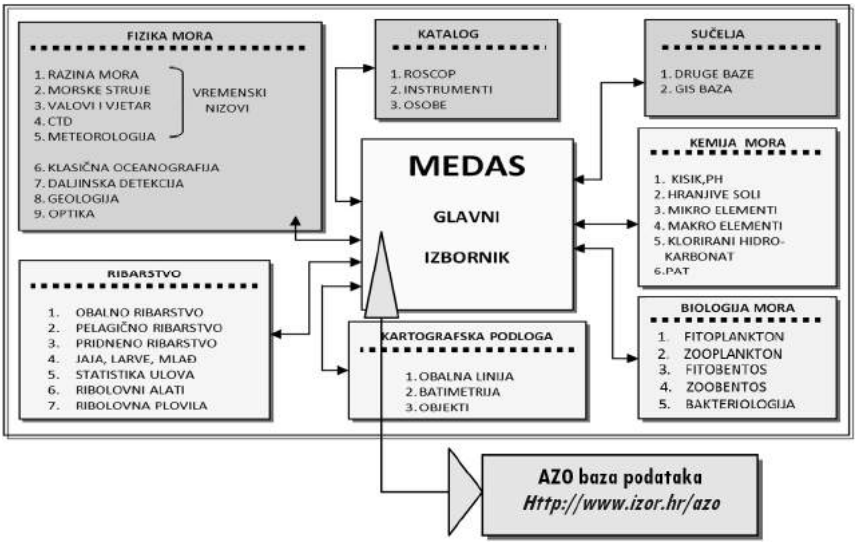
praćenju promjena i trendova pojedinih pokazatelja. S obzirom na broj pokazatelja koji se prate (približno 50) nužno je bilo uključivanje relativno velikog broja suradnika specijaliziranih za pojedine pokazatelje iz IOR-a i drugih hrvatskih institucija među kojima su: Centar za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković iz Rovinja (CIM), Hrvatski hidrografski institut iz Splita, Hrvatske vode, Prirodoslovni muzej iz Zagreba, Prirodoslovno-matematički fakultet iz Zagreba, Ministarstvo poljoprivrede, MZOPUG-v Odsjek za zaštitu mora i priobalja iz Rijeke, Državni zavod za statistiku i Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka.

U sklopu toga razvijeni su posebni obrasci u XLS formatu s uputama za upis podataka, statističke proračune, izradu grafikona i unos slika te pisanje tekstualnih izvješća o stanju pokazatelja koji su u sklopu godišnjih izvješćivanja popunjavani i dostavljani koordinatoru projekta. S obzirom na korištenje različitih inačica programa MS EXCEL od strane pojedinih izvjestitelja te nejednako iskustvo u radu s ovim programom često je dolazilo do neujednačenosti u izgledima izlaznih grafova i tablica te se javljao problem objedinjavanja pokazatelja u zbirnom izvješću koji se naručitelju dostavljao u elektronskom i tiskanom obliku. Također treba uzeti u obzir činjenicu da se broj prikupljenih podataka svake godine povećavao što je usložnjavalo unos i dohvat podataka, rukovanje tablicama, provedbu statističkih proračuna i izradu izlaznih grafikona.

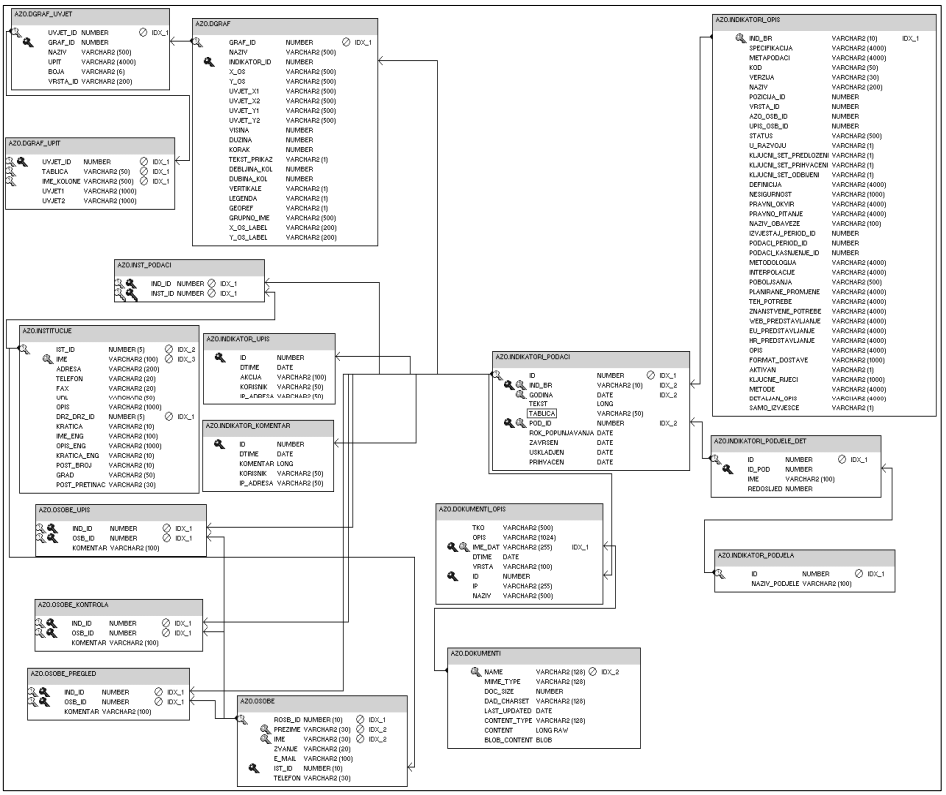
Da bi se olakšala izrada izvješća, te povećala sigurnost i učinkovitost izvješćivanja AZO i EEA nužno je bilo razviti sustav s bazom podataka koji će na jednostavan i lak način omogućavati rukovanje podatcima i informacijama s bilo kojeg računala, što podrazumijeva upis i provjeru kvalitete podataka od strane stručnjaka, njihovu pohranu, obradu, analizu i slanje izvješća, kao i pregled sadržaja od strane zainteresiranih korisnika. Kako ove zahtjeve mogu ispuniti samo sustavi projektirani za rad u mrežnom okolišu razvijen je sustav za interaktivno rukovanje podatcima i informacijama pokazatelja stanja morskog okoliša, ribarstva i marikulture baziran na postojećoj georelacijskoj bazi i mrežnoj tehnologiji u IOR-u. Sustav je dostupan na mrežnoj stranici http://www.izor.hr/azo, a ovisno o pravima pristupa, rukovanje podatcima, pisanje i pregled izvješća je omogućeno svim korisnicima s pristupom na Internet.

3. SASTAVNICE INTERAKTIVNOG MREŽNOG SUSTAVA

Kako je u IOR-u preko 25 godina u upotrebi Baza oceanografskih podataka Jadranskoga mora (MEDAS: http://www.izor.hr/medas) (Dadić i sur., 1995.) koja je u međuvremenu nadograđena s geoprostornom podlogom (Dadić i sur., 1998., 2000. i 2005., Ivanković i sur., 2000.), kao logično rješenje nametnula se njena nadogradnja i prilagodba za potrebe izvješćivanja AZO i EEA (Slika 1.). Baza trenutno radi na Sustavu za upravljanje bazama podataka (SUBP) Oracle 10.2 s uključenim automatskim upravljanjem pohrane (ASM) i aplikacijskim poslužiteljem Oracle 10.2, a pod operativnim sustavom CENTOS 4.4 (linux). Logički model podbaze podataka razvijene za potrebe AZO prikazan je na Slici 2.



Slika 1. Pregled tematskih cjelina u MEDAS bazi podataka i vezom prema tematskoj bazi AZO



Slika 2. Logički model podbaze AZO

Programski alati za upravljanje bazom instalirani su na IOR-ovu računalnu infrastrukturu koju čine dva poslužitelja:

- glavni (razvojni poslužitelj): DELL PowerEdge 2850, Intel Xeon CPU 3.0 GHz Quadcore, 2Gb RAM , 3*73Gb ULTRA SCSI disk kojeg je donirala agencija AZO,
- pričuvni (operativni poslužitelj): DELL PowerEdge 1800 , Intel Xeon CPU 2.8 GHz Dualcore, 2Gb RAM, 2*73Gb ULTRA SCSI disk.

U slučaju kvara bilo kojeg dijela glavnog poslužitelja baza se prebacuje na pričuvni i on preuzima ulogu glavnog poslužitelja.

Osnovu baze podataka čine dvije osnovne tablice („TABLICA“ i „POKAZATELJI_PODATCI“) na koje se naslanjaju sve ostale tablice. U tablicu „TABLICA“ upisuju se mjereni podatci za pojedine pokazatelje iz kojih se automatski izračunavaju osnovni statistički i grafički izlazi (grafovi), a u tablicu „POKAZATELJI_PODATCI“ se upisuju tekstualni dijelovi izvješća na koje se naslanjaju svi ostali podaci i informacije o pokazatelju (slike, grafički prikazi, osobe, institucije, opis pokazatelja, komentari, promjene pokazatelja, ...). Za upravljanje pokazateljima važna je tablica „METAPODATCI“ koja pomaže u praćenju rada na razvoju samih pokazatelja, a nalazi se u autoriziranom dijelu baze.

Za izradu baze podataka u mrežnom okolišu korišteni su programski alati:

- Oracle PL/SQL-u uz korištenje HTML-a, javascripta i Java programskih jezika za programiranje baze „RChart 2.1 for the Java [TM] Platform and SWT“,
- „Google Maps“ za grafički prikaz karata (*api* 3. inačica), a u tijeku je i izrada vlastitih podloga za georeferencirane prikaze.

5. SIGURNOSNE POSTAVKE I PRISTUP BAZI

Kod projektiranja i izrade baze podataka posebno se vodilo računa o sigurnosti podataka. U cilju njihove zaštite i sigurnosti rada, u sklopu rada s bazom uvedeno je više korisničkih skupina s različitim ovlaštenjima u pristupu i rukovanju podatcima i informacijama (Tablica 1.).

Naziv grupe korisnika	**Opis grupe korisnika**	**Ovlasti**
Admin	Administrator	***Pregled svih*** pokazatelja. ***Pristup svim*** podacima, mogućnosti dodavanja i unos podataka, ***Promjena svih*** statusa, dodavanje komentara. ***Pregled promjena*** pokazatelja.
Autor	Autori za pojedini pokazatelj	***Pregled svih*** pokazatelja. ***Unos*** podataka i teksta, izrada grafičkih prikaza, dodavanje slika. ***Dodavanje*** komentara. ***Promjena statusa*** u „završen“. ***Pregled promjena*** pokazatelja.
Usklađivanje	Kontrola sadržaja za pojedini pokazatelj **Ovlaštena osoba od strane IOR-a**	***Pregled svih*** pokazatelja. ***Usklađivanje sadržaja*** pokazatelja. ***Dodavanje*** komentara. ***Promjena statusa*** u „usklađen“. ***Skidanje statusa*** „završen“ (vraćanje na doradu). ***Pregled promjena*** pokazatelja.
Prihvaćanje	Pregled i primjedbe za pojedini pokazatelj **Ovlaštena osoba od strane AZO-a**	***Pregled svih*** pokazatelja. ***Dodavanje*** komentara. ***Pregled podataka*** pokazatelja. ***Odobravanje sadržaja*** pokazatelja promjena statusa u prihvaćen“ ***Skidanje statusa*** „usklađen“ i „završen“ (vraćanje na doradu). ***Pregled promjena*** pokazatelja.
Pregled sadržaja	Neregistrirani korisnik (javno dostupni pristup)	***Pregled pokazatelja*** koji imaju status „prihvaćen“

Tablica 1. Korisničke grupe s pravima pristupa pojedinima sastavnicama u bazi (ovlasti)

Sigurnost rada s bazom ostvarena je kroz posebno definirane sigurnosne postavke na način da se sve promjene na pojedinom pokazatelju od strane korisnika bilježe i to:

- registrirani korisnik koji radi promjene (korisničko ime vezano sa ostalim osobnim podacima),
- vrijeme (s poslužitelja) kada se radi promjena,
- IP adresa računala s kojega se radi promjena,
- vrsta promjene i oznaka objekta koji se mijenja.

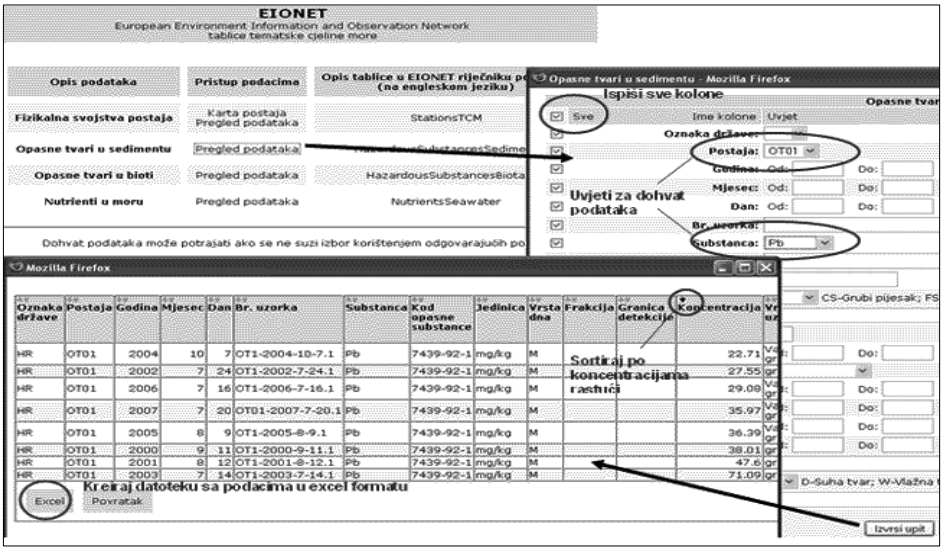
Ove podatke je moguće pregledati na poveznici „Sve promjene“ na dnu sučelja za uređivanje pojedinog pokazatelja. U istom sučelju naznačena je i zadnja promjena u pristupu pokazatelja (izmjena podataka, teksta, grafičkog prikaza i slika, te osoba koja je to obavila).

Po završetku izrade izvješća pojedinog pokazatelja od strane zaduženog stručnjaka, provodi se njegova provjera na dvije razine: na razini voditelja izvješćivanja iz IOPR-a, te razini zaduženih osoba iz AZO na slijedeći način:

1. Po završetku izrade izvješća zaduženi stručnjak pritiskom na ikonu „završeno“ automatski prosljeđuje elektronsku poruku ocjenitelju na prvoj razini s informacijom da je izrada izvješća pokazatelja završena. U slučaju postojanja primjedbi na prvoj razini ocjenitelj izravno iz mrežne baze vraća elektronsku poruku s popisom primjedbi stručnjaku koji je izradio izvješće, te se postupak odvija do usuglašavanja izvješća.
2. Nakon prihvaćanja izvješća, ocjenitelj pritiskom ikone „u redu“ automatski šalje elektronsku poruku ocjenitelju na drugoj razini. Ako ovaj ocjenitelj ima primjedbe na izvješće postupak se odvija kao i na prvoj razini gdje se u više koraka usuglašava izvješće. Nakon što ocjenitelj na drugoj razini prihvati izvješće pritiskom na ikonu „prihvaćeno“ automatski se šalje elektronska poruka autoru i ocjenitelju na prvoj razini, a istovremeno se izvješće o pokazatelju (podatci, tablice, generirani grafovi, slike, fotografije i pisani tekst) automatski šalje na mrežnu stranicu http://www.izor.hr/azo, tj. javno se objavljuju te ih mogu pregledavati svi korisnici koji imaju priključak na Internet.

6. KORIŠTENJE BAZE POKAZATELJA

Jedna od obveza Agencije je suradnja i godišnje izvješćivanje prema Europskoj agenciji za okoliš (EEA) u okviru EIONET mreže (Europska informacijska i promatračka mreža za okoliš). EIONET podržava prikupljanje i organiziranje podataka te razvoj i izdavanje informacija koje se odnose na europski okoliš. Za tu potrebu dostavljaju se i izvorni podaci s mjernih postaja u obliku “MARINE DATA: ME-1” tablica (http://rod.eionet.europa.eu/ obligations/14/overview). Predložak za upis i rukovanje izvornim podatcima (na primjeru opasnih tvari u sedimentu) prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Upis i rukovanje izvornim podatcima (opasne tvari u sedimentu)

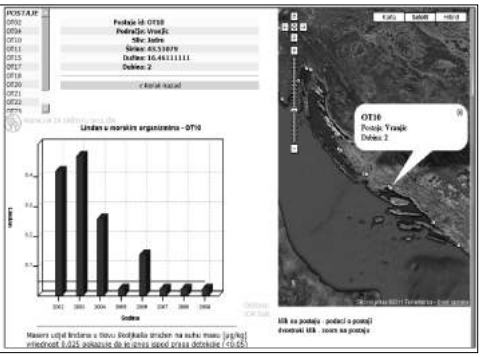
Dosad su prikupljeni i dostavljeni godišnji setovi podataka o kakvoći prijelaznih, priobalnih i morskih voda za razdoblje od 1998. – 2010. koji sadrže preko sto tisuća podataka, a obuhvaćaju sve raspoložive podatke o nacionalnim pokazateljima i dijelu pokazatelja navedenih u ME-1 tablicama. Naime, samo za dio pokazatelja u ME-1 tablicama su bili dostupni podatci, te je od ukupno devet postojećih popunjeno slijedećih pet: podaci o postajama (Stations TCM), opasne tvari u sedimentu (Hazardous Substances Sediment), opasne tvari u bioti (Hazardous Substances Biota), hranjive soli u moru (Nutrients Seawater) i unos tereta/onečišćenja rijekama (Riverine Input Loads).

Baza omogućuje pretraživanje i dohvat selektiranih podataka kroz poseban pretraživač.

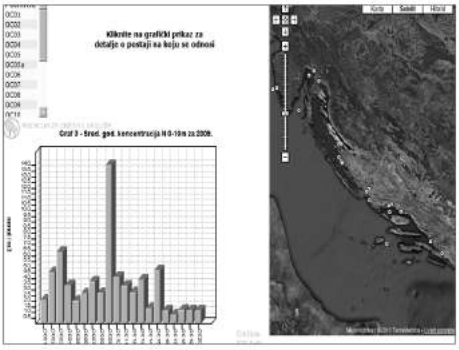
Podatke o fizikalnim svojstvima postaja, opasnim tvarima u morskim organizmima (bioti) i morskome sedimentu te hranjivim tvarima u morskoj vodi (nutrijenti) prikupio je i obradio IOR u suradnji s CIM-om, dok su podatke o unosu tereta/onečišćenja rijekama dostavile Hrvatske vode.

Ulazna mrežna stranica baze pokazatelja AZO prikazana je na slici 4., a primjeri izlaznih rezultata godišnjih i višegodišnjih izvješća na slikama 5. do 7.

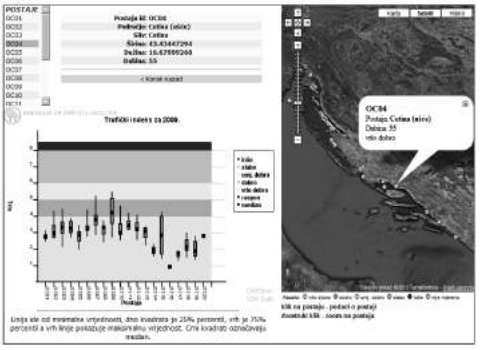
Slika 4. Pristupna mrežna stranica baze



Slika 5. Višegodišnja statistika za lindan u bioti



Slika 6. Srednja godišnja koncentracija dušika na svim mjernim postajama



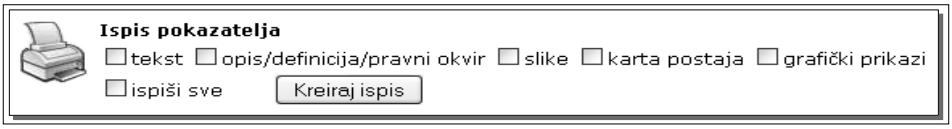
Slika 7. Trofički indeks na svim mjernim postajama i ekološko stanje na postaji u ušću Cetine

Za korištenje baze pokazatelja dovoljno je uz pristup Internetu koristiti neki od standardnih Internet preglednika. Korištenje baze ne uvjetuje određeni preglednik ili operativni sustav te se bazi može jednako pristupati rabeći Windows, Linux, Macintosh, Unix, Sun Solaris ili bilo koji drugi operativni sustav. Grafički prikazi u sklopu baze su ugrađeni putem Java dodatka (Java appleta). Java dodatak je dostupan za sve spomenute operativne sustave i za većinu Internet preglednika. Kod pojedinih operativnih sustava i preglednika potrebno je dodatno upogoniti (instalirati) Javu. To je moguće preko poveznice na početnoj stranici aplikacije („Za pregled grafičkih prikaza potreban je Java dodatak“). Karte u sklopu baze pokazatelja ugrađene su putem Google karata uz korištenje *javascripta*. Grafički prikazi i karte su interaktivni i međusobno povezani (georeferencirani grafički prikazi) na način da se *klikom* na prikaz može dobiti lokacija na karti na koju se taj podatak odnosi ili se *klikom* na lokaciju na karti mogu dobiti podaci za tu postaju. Pregled pokazatelja i spomenuta interaktivnost testirana je na preglednicima: Firefox, Safari, Internet Explorer, Opera i Chrome.

Pregled mrežnih stranica (Interneta) danas je moguć sa sve više različitih elektroničkih uređaja; uz računala s minimalnim zahtjevima za procesor i memoriju tu su i različiti „dlanovnici“, pa i mobilni telefoni većih mogućnosti te „tablet“ računala. Kako se uskoro očekuju te sposobnosti i od uređaja potrošačke elektronike kao što su televizori baza je

prilagođena ovim zahtjevima.

Svaki je pokazatelj moguće prikazati i u obliku prilagođenom za ispis (Slika 8.). Funkcionalnost ispisa Java dodatka (appleta) ne radi u svim preglednicima, ali je ispitana i radi u preglednicima Firefox 3 (Linux i Windows), Internet Explorer 7 (Windows) i Safari 3 (Macintosh).



Slika 8. Pregled mogućnosti dohvata podataka, teksta,grafikona i slika iz AZO baze podataka

ZAKLJUČAK

Interaktivni sustav s mrežnom bazom podataka predstavlja učinkovit alat za jednostavno rukovanje podatcima i pokazateljima stanja morskog okoliša, ribarstva i marikulture, pisanje godišnjih i višegodišnjih izvješća od strane zaduženih stručnjaka, te njihovo pretraživanje i pregled od strane zainteresiranih osoba koji su bez šireg poznavanja informatičke tehnologije. Posebno je važno što je sustav razvijen s georefenciranim prikazom podataka koji korisnika na intuitivan način vodi u pregledu atributnih vrijednosti pojedinog pokazatelja kao i grupa pokazatelja. Sustav je značajno poboljšao pristup raspoloživim podacima o moru kao i sustav izvješćivanja.

Kako u bazi za dio pokazatelja postoje podatci od 1998. godine, a njihov će se broj ubuduće stalno povećavati, sve će više dolaziti do izražaja vrijednost ovog sustava jer omogućuje jednostavno i lako praćenje stanja pokazatelja, njihove međuzavisnosti i trendova što može znatno pomoći donositeljima odluka na lokalnoj i državnoj razini u upravljanju resursima i zaštiti morskog okoliša.

Treba naglasiti da bi radi podizanja kvalitete nacionalnog izvješćivanja o stanju morskog okoliša, ribarstva i marikulture te ispunjavanja obveza prema EEA postojeća mjerenja trebalo prostorno i vremenski proširiti umjesto smanjenja što se zadnje vrijeme događa zbog ekonomskih poteškoća. Naime, mjerenja bi u skladu s Okvirnom direktivom o morskoj strategiji (MFSD) trebalo proširiti na način da obuhvaćaju barem jednu reprezentativnu točku u svakom vodnom tijelu priobalnih i prijelaznih voda s dostatnom učestalošću tijekom godine, što za sada nije slučaj.

LITERATURA

[1] Dadić V., M. Srdelić, A. Grubišić, (1995). *Oceanographic Information system and databases of the Adriatic Sea*. 17th International Conference ITI-95, Pula. Proceeding: 289-294.

[2] Dadić V., M. Srdelić; B. Malenica i S. Knezić, (1998). *GIS sustav okoliša Kaštelanskog zaljeva i baze podataka.* Savjetovanje Kaštela kolijevka Hrvatske, Kaštel stari, 30. rujna - 3. listopada (1998). Zbornik radova: 467-477.

[3] Dadić V., M. Srdelić and D. Ivanković (2005). *GIS usage in planing of marine area assignment – Case study*. IEEE conference and exibition OCEANS'05 EUROPE, June 20-23 2005. Brest, France. Proceedings:

[4] Dadić, V; V. Tičina, D. Ivanković, (2006) *Usage of geospatial methods in determination of pelagic fish stock distribution*. // Annales of geomagnetics. VI (2008), 1: 49-54.

[5] Ivanković D., V. Dadić and M. Srdelić, (2000). *Marine environmental database of the Adriatic Sea with application for managing and visualisation of data*. ENVIROSOFT International Conference: Computer techniques to Environmental Studies, Bilbao, Spain. Proceedings:398-406.

AUTORI

Prof. dr. sc. Vlado Dadić[a]
Damir Ivanković, dipl. inž.[a]
Mr.sc. Anica Juren[b]
Biserka Mladinić, dipl. inž.[b]
Melita Došen, dipl. inž[b]

[a] Institut za oceanografiju i ribarstvo; Meštrovićevo šetalište 63, 21000 Split, Hrvatska, dadic@izor.hr

[b] Agencija za zaštitu okoliša, Trg M. Tita 8, 10000 Zagreb, Hrvatska, melita.dosen@azo.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.58.

PLAVA ZASTAVA U SLUŽBI ZAŠTITE MORA I OBALNOG POJASA

Marinka Kutle

SAŽETAK: Plava zastava za plaže i marine međunarodni je ekološki program zaštite okoliša, mora i priobalja, čiji je cilj održivo upravljanje i gospodarenje morem, obalnim pojasom i prostorima koji trpe najjači pritisak, a to su upravo plaže i marine. Intelektualni vlasnik i međunarodni voditelj ovog programa je Zaklada za odgoj i obrazovanje za okoliš - Foundation for Environmental Education (Kopenhagen, Danska). Program Plava zastava u Republici Hrvatskoj od 1997 godine uspješno provodi Udruga Lijepa naša, a njegova provedba počiva na strogo definiranim kriterijima, koji se dijele u četiri glavna poglavlja: odgoj i obrazovanje za okoliš i informiranje javnosti, kvaliteta vode za kupanje, upravljanje okolišem, te sigurnost i usluge. Plava zastava simbol je izvrsne kvalitete vode za kupanje na plažama, te čistih, urednih, sigurnih i dobro održavanih plaža i marina. Provedbom programa Plava zastava, među posjetiteljima se želi podići razina znanja, promišljanja i odgovornosti prema očuvanju pomorskog i vodnog dobra, te se motivira ljude da izbjegavaju nanošenje štete moru i njegovom okolišu. Plava zastava predstavlja najpriznatiji model ekološkog odgoja, obrazovanja i obavješćivanja javnosti u svezi sa zaštitom mora i obale, te je brojni turisti uzimaju kao glavni kriterij pri odabiru svoje destinacije za ljetovanje.

KLJUČNE RIJEČI: Plava zastava, Udruga Lijepa naša, Plaža, Marina, More, Zaštita mora, Zaštita obale

BLUE FLAG IN SERVICE OF SEA AND SEABOARD PROTECTION

SUMMARY: Blue Flag for beaches and marinas is International Programme of Environment protection, Sea and Seabord protection, whose aim is sustainable management for Sea, Seaboard and places which bear the strongest pressure (beaches and marinas). The Blue Flag Campaign is owned and run by the independent non-profit organization Foundation for Environmental Education-FEE (http://www.blueflag.org/). Head office of FEE is in Kopenhagen in Denmark. Blue Flag programme in Croatia has been conducted by Association Lijepa naša since 1997. Blue Flag programme is based on four main group criteria: environmental education and information, water quality, environmental management and safety and services. Blue Flag symbolize preserved, safe, clean and pleasant

environment, with high bathing water quality on beaches. The Blue Flag Program is designed to raise environmental awareness and increase good practices among tourists, locals and beach and marine staff. Blue Flag represented the best model of environmental education and awaraness for public in relation with sea and coast protection. Many turists takes Blue Flag as main criteria when they choose their destination for holiday.

KEY WORDS: Association Lijepa naša, Blue Flag, Beach, Marina, Sea, Sea Protection, Coast Protection

1. UVOD

Plava zastava za plaže i marine je međunarodni ekološki program zaštite okoliša mora i priobalja, čiji je prvenstveni cilj održivo upravljanje i gospodarenje morem i obalnim pojasom (www.lijepa-nasa.hr/plavazastava). Plava zastava predstavlja u svijetu iznimno cijenjenu turističku markicu, koju brojni turisti uzimaju kao glavni orijentir pri odabiru svoje destinacije ljetovanja.

Ona ukazuje na čiste, uredne, sigurne i dobro održavane plaže/marine, te kao takva predstavlja najpriznatiji model ekološkog odgoja, obrazovanja i obavješćivanja javnosti i ujedinjuje turistički sektor i sektor zaštite okoliša na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini.

Kampanja Plave zastave započela je kao francuska ideja 1985 (Kutle, 2001). Na europskoj razini pokrenuta je 1987. godine od strane Zaklade za odgoj i obrazovanje za okoliš, odnosno FEE (Foundation for Environmental Education; Kopenhagen, Danska), kao jedna od inicijativa u sklopu „Godine okoliša“ Europske unije. Zaklada za odgoj i obrazovanje za okoliš osnovana je 1981 godine i nevladina je i neprofitna organizacija, koja ciljano promiče održivi razvoj kroz odgoj i obrazovanje za okoliš nizom programa. Zakladu je osnovalo vijeće Europe, kako bi preko nje moglo usmjeravati, provoditi i nadzirati politiku odgoja i obrazovanja za okoliš u državama Europske zajednice. Kampanja Plava zastava započela je sa 244 plaže i 208 marina, koje su bile nagrađene Plavom zastavom u ukupno 10 zemalja. Od 2001 godine program Plava zastava počeo se provoditi i izvan Europe na svim ostalim kontinentima.

Broj plaža/marina sudionica rastao je iz godine u godinu, a u 2010 g. Plava zastava zavijorila se na 3601 plaži i marini u svijetu. U sljedećoj tablici prikazan je ukupan broj plaža sa koncesijom u Hrvatskoj, te ukupan broj plaža nagrađenih s Plavom zastavom u 2010. godini.

Ukupan broj plaža u Hrvatskoj	Broj plaža s Plavom zastavom
350	116

Tablica 1. Usporedba ukupnog broja plaža i plaža s Plavom zastavom u Hrvatskoj u 2010. godini.

Prema tabličnom prikazu (tablica 1) proizlazi da ukupan broj plaža s Plavom zastavom u 2010. godini, čini oko 35% od ukupnog broja plaža u Hrvatskoj.

Sljedeća tablica prikazuje ukupan broj marina u Hrvatskoj, te broj marina nagrađenih u 2010. godini s Plavom zastavom.

Ukupan broj marina u Hrvatskoj	Ukupan broj marina s Plavom zastavom
56	20

Tablica 2. Usporedba ukupnog broja marina i marina s Plavom zastavom u Hrvatskoj u 2010. godini

Prema tabličnom prikazu (tablica 2) možemo zaključiti da ukupan broj marina s Plavom zastavom u 2010. godini, čini cca 33% od ukupnog broja marina u Hrvatskoj.

U početku su se kriteriji Plave zastave za plaže bavili prvenstveno implementacijom Direktive o vodi za kupanje, prisutnošću kanti za smeće, sanitarnih objekata i objekata za spašavanje života (Kutle, 2001). Od tada su više puta mijenjani i postroživani, no unatoč tome interes za pridruživanje programu je i dalje rastao.

Plava zastava ne dodjeljuje se nužno čitavom području plaže, jezera ili mora, koje može biti izrazito veliko, već samo određenom dijelu teritorija, nad kojim postoji koncesija i nadzor, te koji za to ispunjava određene uvjete. Područje koje je nagrađeno Plavom zastavom mora biti vidljivo označeno, kako bi se točno znalo kojem dijelu pripada Plava zastava. Plava zastava je priznanje koje se dodjeljuje samo za jednu sezonu, te se zahtjev svake godine mora obnoviti na propisani način, ukoliko se želi obnoviti priznanje.

Za Plavu zastavu mogu se kandidirati i nositi je:

- uređene plaže i marine na moru,
- uređene plaže i marine na slatkim kopnenim (stajaćim) vodama,
- vlasnici pojedinačnih brodova.

Provedba programa Plava zastava, započela je na morskim plažama i marinama, koje su najbrojniji nosioci ovog programa. Iz tog razloga se uvriježilo mišljenje, da se ovaj program odnosi samo na zaštitu mora i morske obale. S obzirom da milijuni ljudi širom svijeta, svake godine, svoj odmor provode na slatkovodnim plažama, uz obale jezera i rijeka, zemlje članice FEE osvijestile su potrebu da se zbog sigurnosti i zdravlja korisnika, te očuvanja slatkovodnog okoliša isti kriterij nametne i tim plažama/marinama.

Plava zastava za slatke vode dodjeljuje se isključivo vodama stajačicama (Kutle, 2001), jer je u slučaju voda tekućica nemoguće regulirati i zadržati jednaku kvalitetu vode čitave sezone. Naime, na vode tekućice utječu riječni nanosi, koje nije moguće zaustaviti ili izolirati od dijela gdje borave kupači.

Za provedbu programa Plava zastava u svakoj državi zadužena je jedna ekološka udruga. Program Plava zastava u Hrvatskoj provodi Udruga Lijepa naša sa sjedištem u Zagrebu. Udruga Lijepa naša osnovana je 1990. godine, a njezini ciljevi počivaju na promicanju ekoloških spoznaja, propagiranju ljepota i ostalih vrijednosti Republike Hrvatske, te zaštiti nepokretne, pokretne i nematerijalne kulturne baštine, a posebice zaštiti kulturnopovijesnih cjelina i lokaliteta. Plava zastava prvi puta u Hrvatskoj zavijorila se 1998. godine, a danas se Udruga Lijepa naša može pohvaliti s ukupno 116 plaža i 20 marina, koje su nositelji ovog priznanja u 2010. godini. Plava zastava kao jedan od najpriznatijih modela ekološkog odgoja i obrazovanja uvelike pridonosi zaštiti mora i priobalnog pojasa. Ovim programom nastoji se podići razina ekološke svijesti šire javnosti, te doprinijeti očuvanju obalnih prostora Republike Hrvatske.

2. PROVEDBA PROGRAMA PLAVA ZASTAVA I NJEZINI KRITERIJI

2.1. Kriteriji Plave zastave za plaže i marine

Provedba programa Plava zastava počiva na strogo definiranim kriterijima, koji su grupirani u četiri glavna poglavlja: odgoj i obrazovanje za okoliš i informiranje javnosti, kvaliteta vode, upravljanje okolišem, te sigurnost i usluge.

Za vrijeme sezone Plave zastave, zastava mora biti podignuta na plaži odnosno unutar marine, jer je ona simbol programa koji plaža i marina provode. Zastava smije biti podignuta samo onda kada su zadovoljeni svi kriteriji koje propisuje program.

Kriteriji Plave zastave dijele se na imperativne i preporučljive. Većina kriterija za plaže i marine su imperativni kriteriji, što znači da ih one moraju u potpunosti ispunjavati kako bi im bila dodijeljena Plava zastava. Drugi kriteriji su preporučljivi kriteriji, što znači da plaže i marine trebaju težiti njihovom ispunjenju.

Kontrolu provedbe kriterija provode domaći i međunarodni inspektori, nekoliko puta tijekom sezone Plave zastave. U slučaju neispunjenja pojedinih kriterija, zastava može biti oduzeta privremeno ili do kraja sezone kupanja. Sve korisnike plaža i marina potiče se da prijave nacionalnom operateru Plave zastave, ukoliko uoče kršenje i zanemarivanje propisanih kriterija.

2.1.1. Odgoj i obrazovanje za okoliš

Svi kriteriji ovog poglavlja su imperativni, a njima je propisano da plaže i marine s Plavom zastavom, moraju omogućiti svojim korisnicima pravovremenu dostupnost brojnih informacija. Informacije moraju biti prikazane na informativnim panoima unutar plaža odnosno marina. Te informacije se odnose na čistoću vode za kupanje, prisutnost štetnih mikroorganizama u vodi za kupanje, mogućnost eventualnog onečišćenja plaže, te potencijalne opasnosti na plaži, uslijed kojih bi plaža mogla postati nesigurna za okoliš, zdravlje ili sigurnost ljudi.

Informacije o kvaliteti vode za kupanje moraju biti prikazane u lako razumljivom obliku, kao što su tablice ili simboli, kojima se prikazuju dobiveni rezultati sanitarne analize vode. U tablici mora biti prikazan datum uzimanja uzoraka, dozvoljeni parametri, te informacije o ustanovi koja je nadležna za sanitarnu analizu vode za kupanje. Analiza sanitarne kvalitete vode za kupanje ne provodi se unutar marina s Plavom zastavom, već samo unutar plaža.

Učestalim kontroliranjem sanitarne kvalitete vode za kupanje, omogućuje se pravovremeno reagiranje na sve nepovoljne uvjete, koji mogu ugroziti naše vode i mora, te se uvelike doprinosi zaštiti vodenih ekosustava.

Plava zastava, osim što je simbol izvrsne kvalitete vode za kupanje, jamči i sigurnost svojim korisnicima za vrijeme njihova boravka na plažama, odnosno unutar marina. Ukoliko plaža ili marina na bilo koji način postane nesigurna ili opasna za korisnike ili okoliš, potrebno je postupiti prema proceduri koja je predviđena planom u slučaju nužde. Postojanje takvog plana obveza je svake plaže i marine, koja je nositelj Plave zastave.

Nadalje, unutar plaža i marina s Plavom zastavom, moraju biti prikazane informacije o osjetljivim prirodnim područjima u obalnom pojasu, zajedno sa popisom flore i faune, koja

obitava u tim prostorima. Te informacije moraju biti prikazane na informativnom panou, kao i u turističkim brošurama, zajedno sa savjetima kako se ponašati u tim područjima. Program Plava zastava, kroz ovakav način informiranja, nastoji utjecati na odgovorno ponašanje šire javnosti spram tih područja, te spriječiti njihovo uništenje.

Informativni pano mora prikazivati i kartu plaže, sa svim sadržajima koji se na njoj nalaze, kao što su: lokacija opreme za spašavanje i prve pomoći, područje pod nadzorom spasilačke službe (ukoliko je ima), sanitarni objekti, izvori pitke vode, telefon, parkirališta, pristupi plaži i pristupi za osobe s invaliditetom, spremnici za reciklažni otpad, indikator: „vi ste ovdje“, šetnice, granica područja Plave zastave, zoniranje, obližnji javi prijevoz, lokalne znamenitosti (ukoliko ih ima), rijeke i vodotokove, odljeve oborinskih voda. Ovim informacijama se korisnicima plaža i marina nastoji olakšati pronalaženje pojedinih lokacija, te potaknuti korisnike da odgovarajući otpad odlažu u za to predviđene spremnike. Na ovaj način se sprečava da nerazgradivi ili opasni otpad završi primjerice u moru ili uz obalu.

Sljedeći obvezni kriterij ovog poglavlja je provođenje aktivnosti odgoja i obrazovanja za okoliš. Naime, lokalna zajednica i uprava plaže trebaju zajednički provesti najmanje pet ovakvih aktivnosti, dok su marine dužne provesti tri ovakve aktivnosti u sezoni Plave zastave. Ove aktivnosti održavaju se u obliku radionica ili predavanja, u kojima sudjeluju posjetitelji plaža i marina. Aktivnosti najčešće uključuju razvrstavanje oporabivog otpada, uporabu oporabivog otpada za izradu suvenira, čišćenje plaže, podmorja i uvale, demonstracije pružanja prve pomoći i spašavanja, izradu letaka s informacijama o programu Plava zastava i brojne druge. Informacije o datumu i vremenu održavanja, kao i nazivu aktivnosti, moraju biti prikazane na informativnim panoima unutar plaža i marina. Kroz ove aktivnosti nastoji se poučiti korisnike plaža i marina o nužnosti očuvanja pomorskog i vodnog dobra, potaknuti ih da odlažu otpad u za to predviđene spremnike, da ne onečišćuju okoliš, da čuvaju prirodna osjetljiva područja, floru i faunu. Na ovaj način znatno se utječe na ekološku svijest korisnika plaža i marina. Pozitivan učinak ovakvih aktivnosti najviše je zamijećen kod najmlađih naraštaja, jer je to razdoblje kada se stečena znanja najbolje usvajaju, a stečene navike ostaju za cijeli život.

2.1.2. Kvaliteta vode

Budući da je Plava zastava međunarodna eko-markica, koja održava globalni standard kvalitete vode, ona zahtjeva izvrsnu kvalitetu vode za kupanje na plažama.

Iz tog razloga je na plažama s Plavom zastavom, potrebno redovito kontrolirati kvalitetu vode za kupanje. Kontrola kvalitete vode za kupanje provodi se uzimanjem uzoraka vode za kupanje i njihovom analizom, prema propisanom postupku i unaprijed utvrđenom vremenskom rasporedu. Uzimanje uzoraka i kontrolu kvalitete vode za kupanje u Republici Hrvatskoj provode: Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba, te zavodi jadranskih županija: Istarske, Primorsko-goranske, Ličko-senjske, Zadarske, Šibensko-kninske, Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske. Kontrola kvalitete vode za kupanje traje od 15.05 - 15.09, a sezona kupanja traje od 01.06 - 15.09. Utjecajem povoljnih vremenskih prilika sezona može trajati i duže.

Svaka plaža, koja je nositelj Plave zastave, mora imati najmanje jednu točku uzorkovanja, koja se mora nalaziti na mjestu najveće koncentracije kupača. Pretpostavlja se da je na

mjestu najveće koncentracije kupača i najveća mogućnost eventualnog opadanja kvalitete vode za kupanje, te je cilj dobiti upravo ovakav uzorak. Uzorci se uzimaju 30 cm ispod površine vode, izuzev uzoraka koji služe za određivanje koncentracije mineralnih ulja, koji se uzimaju s površine.

Na plaži mora biti obavljeno najmanje pet uzorkovanja vode za kupanje, bez obzira na duljinu trajanja sezone Plave zastave, jer se u protivnome, te plaže neće moći kandidirati za Plavu zastavu. Za vrijeme sezone Plave zastave, ne smije proći više od 28 dana između dva uzorkovanja. Raspored uzorkovanja vode za kupanje mora biti dogovoren prije početka sezone kupanja. Uzorkovanje se mora izvršiti najkasnije četiri dana nakon dogovorenog datuma, ukoliko ne postoje neke izuzetne okolnosti koje to onemogućavaju. Svake godine, prije početka sezone Plave zastave, sve one plaže koje se žele ponovno kandidirati za Plavu zastavu moraju dostaviti nacionalnom operateru rezultate analize kvalitete vode za prethodne četiri godine. Ti rezultati moraju udovoljavati traženim uvjetima, jer u protivnom plaža ne može dobiti Plavu zastavu za tu sezonu.

Nakon uzimanja uzoraka, Zavod za javno zdravstvo pojedine županije, vrši analizu vode za kupanje. Program Plava zastava zahtjeva praćenje i ispunjenje određenih mikrobioloških parametara, kao što je udio fekalnih koliformnih bakterija (Echerichia coli) i crijevnih enterokoka/streptokoka u vodi za kupanje. Granična vrijednost fekalnih koliformnih bakterija, po kriterijima programa Plava zastava, ne smije biti veća od 250 cfu/100 ml (jedinica formiranja kolonije), dok udio crijevnih enterokoka/streptokoka ne smije biti veći od 100 cfu/100ml. Ukoliko rezultati analize pokažu veću razinu zagađenja, od one koju dozvoljava ovaj program, preporučuje se privremeno povećati intenzitet uzorkovanja, kako bi se isključio mogući incident zagađenja vode za kupanje.

Ukoliko na plaži postoje drugi potencijalni izvori zagađenja, te potoci, rijeke ili drugi nanosi, uzorke je potrebno uzimati u njihovoj blizini, kako bi se pružio dokaz da oni ne utječu na kvalitetu vode za kupanje.

Ako se neka plaža s Plavom zastavom nalazi u unutrašnjosti, gdje se voda nadomješta iz vanjskih izvora tijekom suhih perioda, kvaliteta vode vanjskog izvora mora se poklapati s kriterijima Plave zastave o kakvoći vode za kupanje, te je i tu vodu potrebno redovito kontrolirati.

U slučaju zagađenja naftom, izvanrednih vremenskih uvjeta ili drugih ekstremnih faktora, koji imaju negativan utjecaj na kvalitetu vode, uprava plaže mora privremeno spustiti zastavu i istaknuti razloge za taj čin na oglasnoj ploči. Obavijest može biti formulirana ovako: „Ova plaža je pod utjecajem izvanrednih vremenskih uvjeta. Zbog mogućnosti zagađenja trenutno se ne preporučuje kupanje.“ .

Na plažama s Plavom zastavom ne smije doći do bilo kakvih nanosa industrijskih i komunalnih otpadnih voda, bilo iz izvora unutar ili izvan područja koje se kandidira, a koji utječe na kvalitetu vode za kupanje. Ukoliko na području plaže ili okolnom području postoje točke istjecanja, one ne smiju utjecati na kvalitetu vode za kupanje.

Nadalje, program Plava zastava propisuje, da prikupljanje, obrada i ispuštanje komunalnih otpadnih voda mora udovoljavati nacionalnim i međunarodnim standardima te nacionalnim i međunarodnim propisima.

Posebnu pozornost, potrebno je obratiti na obližnja industrijska postrojenja i njihov utjecaj na okoliš, a relevantna nadležna tijela moraju pismeno potvrditi da je to područje

pod nadzorom, te da ne predstavlja opasnost po zdravlje ljudi ili okoliš.

Kopneni dio plaže mora se stalno nadzirati, kako bi se izbjeglo da na njemu dođe do zagađenja mineralnim uljima. Na površini vode ne smije postojati uljna opna, te se ne smije osjećati miris ulja.

Nadalje, na vodi ne smiju plutati čestice kao što su katranasti ostaci, drvo, plastični predmeti, boce, staklo, kutijice ili bilo koji drugi predmeti. Površina vode se stalno mora nadzirati, kako ne bi došlo do neprirodnih promjena, kao što su promjene u boji, prozirnosti i uzburkanosti vode. Ukoliko se fizičko i kemijsko onečišćenje opetovano pojavljuje, Plava zastava se mora spustiti, jer plaža u tom slučaju više ne ispunjava uvjete za nju.

Svaka plaža s Plavom zastavom, trebala bi imati plan za hitne slučajeve s odgovarajućim rješenjima za pojedine izvanredne situacije. Time se omogućuje pravovremeno reagiranje na sve opasnosti, te njihovo otklanjanje ili svođenje na minimum.

Svi kriteriji ovog poglavlja su imperativni, što znači da ih plaža mora u potpunosti ispoštovati. Provedbom svih navedenih kriterija uvelike se utječe na očuvanje vodenog i pomorskog dobra. Osim što se konstantno ispituje sanitarna kvaliteta vode, pravilno se gospodari otpadnim vodama, te se izbjegava da bilo kakav otpad, štetne tvari ili kemikalije završe u vodenim ekosustavima.

2.1.3. Upravljanje okolišem

Program Plava zastava, u jednom od preporučljivih kriterija ovog poglavlja ukazuje plažama s Plavom zastavom, da je poželjno da osnuju Odbor za upravljanje plažom, koji će ispunjavati i provoditi sve kriterije, koji se odnose na upravljanje okolišem. Odbor bi se trebao sastojati od predstavnika svih relevantnih čimbenika na lokalnoj razini, kao što su predstavnik lokalnih vlasti, direktor hotela čija plaža je nositelj Plave zastave, upravitelj plaže, spasilac i drugi.

Odbor za upravljanje plažom treba surađivati s koncesionarom plaže, kako bi se uveo sustav upravljanja okolišem i vršio redoviti nadzor objekata na plaži. Svaka regija odnosno lokalna zajednica mora imati razvojni plan i plan o korištenju prostora obalnog područja. Taj plan mora biti u skladu s propisima o prostornom planiranju i zaštiti obalnog područja. Takav plan mora sadržavati odredbu o ispuštanju otpadnih voda, regulaciju vezanu uz zdravlje i okoliš, planove očuvanja, dozvole za obavljanje djelatnosti i drugo.

Jedan od imperativnih kriterija ovog poglavlja je i čistoća plaže. Plaža, pristup plaži, okolni putovi i parkirališta moraju biti čisti. Na njima ne smije biti nikakvog otpada, te se oni moraju redovito čistiti, vodeći računa o okolnoj flori i fauni i njezinom očuvanju. Plaža se čisti najčešće u jutarnjim satima, ponekad i više puta dnevno. Kante i spremnici za razvrstavanje otpada moraju biti dostupni pored plaže u dovoljnom broju (otprilike svakih 15 m), te redovito održavani, a preporučljivo je da budu izrađeni od ekoloških materijala, poput reciklirane plastike. Unutar plaža i marina obavezno je imati barem tri spremnika za prihvat oporabljivih materijala (staklo, papir, plastika), koji moraju biti propisno označeni. Unutar marina moraju postojati i kontejneri za prihvat opasnog otpada, kako bi se izbjeglo da isti ne završi u vodi ili moru. Redovitim održavanjem čistoće plaža i marina, te pravilnim odlaganjem opasnog i oporabivog otpada izbjegava se mogućnost da isti završi u moru ili uz obalu.

Ukoliko je na plaži prisutna morska trava, preporučljivo ju je ne uklanjati, sve dok ne predstavlja smetnju ili opasnost na plaži za posjetitelje. U takvim situacijama, potrebno je konzultirati stručnjake za okoliš i razmotriti mogućnost njezina odlaganja ili upotrebe kao gnojiva, kako bi se izbjegao štetni utjecaj na okoliš.

Svi objekti na plaži moraju biti održavani, kako ne bi narušavali čistoću i vizualni dojam. Zabranjeno je korištenje insekticida ili kemikalija prilikom čišćenja pijeska i okoliša.

Odljevi oborinskih voda također moraju biti redovito čišćeni. Ukoliko se unutar marina s Plavom zastavom nalaze područja za popravljanje ili pranje brodova, eventualna zagađenja iz tih područja ne smiju ući u tlo ili vodu.

Kontrola otpadnih voda iz sanitarnih objekata na plažama i marinama mora biti strogo provođena.

Program Plava zastava promiče održive načine prijevoza na plažama i unutar marina, kao što su bicikli i turistički vlakići, te sugerira posjetiteljima da za vrijeme odmora čim manje koriste automobile.

Razvrstavanjem oporabivog i opasnog otpada, te njihovim odlaganjem na odgovarajuće mjesto, izbjegavamo štetan učinak na okoliš, kao i mogućnost da isti završe u vodenim ekosustavima i utječu na njihovu kvalitetu.

2.1.4. Sigurnost i usluge

Program Plava zastava zahtjeva visoku razinu sigurnosti korisnika plaža i marina, koje su nositelji ovog priznanja. Iz tog razloga na plažama i unutar marina s Plavom zastavom, mora postojati oprema za spašavanje i oprema za pružanje prve pomoći i to je imperativni kriterij.

Poželjno je da plaže s Plavom zastavom imaju i spasilačku službu, kako bi se povećala razina sigurnosti korisnika plaža. Broj spasilaca mora biti dostatan, ovisno o veličini plaže, te oni moraju biti smješteni u prikladnim razmacima (preporuča se po jedan spasilac na svakih 200 m). Opremu za spašavanje preporučuje se postaviti na razmak od 100 m, između pojedinih kompleta. Lokacije opreme za spašavanje, opreme za pružanje prve pomoći, kao i područja pod nadzorom spasilaca moraju biti jasno prikazani na informativnom panou.

Nadalje, na svim plažama i unutar svih marina, koje su nosioci Plave zastave moraju postojati planovi za slučaj ekološke katastrofe. Plan treba sadržavati jasno određenu proceduru, s ciljem učinkovitosti u hitnim slučajevima, kao što su primjerice izljev nafte, opasni toksični izljevi koji dolaze na plažu s morske strane, ispusti oborinskih voda, cvjetanje algi i drugo. Plan mora specificirati koga je potrebno kontaktirati u slučaju zagađenja (za to mora biti određena osoba na lokalnoj razini), kao i precizirati tko što čini u slučaju nužde, vodeći računa o državnim propisima. Na informativnom panou moraju biti prikazani brojevi hitnih službi, koje je potrebno kontaktirati u takvoj situaciji. Ukoliko dođe do bilo kakvog oblika zagađenja na plaži ili unutar marine, odmah je potrebno obavijestiti njezine korisnike, postavljenjem informacija na informativni pano. Primjerice, ukoliko se radi o zagađenju vode za kupanje, potrebno je informirati javnost da kupanje nije sigurno. O zagađenju je potrebno obavijestiti također i medije, turističke urede, kao i druge relevantne kanale komunikacije, koji će izvijestiti širu javnost o zagađenju. U trenutku prestanka zagađenja potrebno je obavijestiti korisnike plaže odnosno marine, kao i širu

javnost da je opasnost prošla, te da je to područje ponovno sigurno za korištenje.

Plaže na kojima se odvijaju brojne aktivnosti, moraju upravljati svojim prostorom, na način da različite korisnike i aktivnosti ne dovode u sukob. Plivači moraju biti zaštićeni od svih plovila, a različite aktivnosti na plaži moraju biti jasno označene i zonirane.

Samom plažom mora se upravljati na ekološki prihvatljiv način, kako bi se očuvale osjetljive vrste i prirodna staništa. Rekreativne aktivnosti, koje se odvijaju na plaži ne smiju izazivati ili pojačavati propadanje obalnog pojasa, vegetacije ili morskog dna. Pristup plaži s Plavom zastavom mora biti slobodan i siguran, a šetnice i stepenice koje vode na plažu, moraju biti dovršene i u dobrom stanju.

Preporučljivo je da na plažama bude dostupna pitka voda, zaštićena od životinjske kontaminacije, a ona može biti iz prirodnog izvora, vodovoda ili nekog drugog izvora.

Kriteriji Plave zastave propisuju da najmanje jedna plaža s Plavom zastavom unutar općine/grada mora imati pristup plaži i sanitarne prostorije za osobe s invaliditetom.

ZAKLJUČAK

Program Plava zastava propisuje brojne kriterije, koji su izrazito usmjereni na zaštitu voda i obalnog pojasa. Osim što zahtjeva stalnu kontrolu kvalitete vode za kupanje, propisuje i brojne druge kriterije usmjerene na pravilno gospodarenje otpadom, te otpadnim vodama, kako isti ne bi završili u moru/jezeru. Insistiranjem na provedbi programa Plava zastava, među posjetiteljima plaža i marina, želi se podići razina znanja, promišljanja i odgovornosti prema očuvanju pomorskog i vodnog dobra i izbjeći nanošenje šteta moru i njegovu okolišu. Program Plava zastava jedan je od najboljih načina kojime možemo očuvati naša prirodna bogatstva, podići razinu svijesti domaćih i stranih posjetitelja, te doprinijeti unapređenju hrvatskog turizma.

LITERATURA

[1] Kutle, A.K., (2001): Plava zastava za plaže i marine u Republici Hrvatskoj - priručnik, Zagreb

[2] www.lijepa-nasa.hr

[3] www.blueflag.org

AUTOR

Marinka Kutle, dipl. ing. agr

Udruga Lijepa naša: Palmotićeva 17a, Zagreb, 10 000, Hrvatska,
lijepa-nasa-ppp@zg.t-com.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.59.

ISPITIVANJE KAKVOĆE MORA NA PLAŽAMA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE U 2009. i 2010. GODINI

Denis Pešut, Nikolina Furlan, Darija Vukić Lušić, Blanka Pružinec Popović, Vladimir Mićović, Dražen Lušić

SAŽETAK: Svrha i praktične primjene ispitivanja sanitarne kvalitete obalnog mora su mnogobrojne. Ispituju se fizikalne, kemijske i bakteriološke osobine morske vode koje upućuju na potencijalni rizik od zaraznih bolesti kojima se izlažemo pri rekreaciji ili proizvodnji hrane. Mikrobiološki parametri općenito se smatraju najznačajnijim indikatorima zagađenja mora sanitarno-fekalnim otpadnim vodama.

Program ispitivanja kakvoće mora na morskim plažama Primorsko-goranske županije u 2009. i 2010. g. provodio se temeljem Uredbe o kakvoći mora za kupanje (NN 73/08) koja je stupila na snagu 1. siječnja 2009. g., a propisuje praćenje novih mikrobioloških parametara (crijevnih enterokoka i Escherichie coli) te nove granične vrijednosti.

Prostor Primorsko-goranske županije karakterizira krški reljef i gusta urbanizacija, a bez potpuno riješene odvodnje otpadnih voda. To sa sobom nosi rizik brzog utjecaja na kvalitetu i zdravstvenu ispravnost kako podzemnih voda tako i mora, kao konačnog recipijenta.

U navedenom razdoblju ispitivanja, more je uzorkovano na 237 lokacija. Kakvoću mora na području PGŽ, prema spomenutoj Uredbi, karakterizira visoki udio izvrsnih konačnih ocjena; preko 94% u obje godine ispitivanja.

Najlošija mikrobiološka slika uočena je na plažama grupiranim u zapadnom dijelu grada Rijeke (Kantrida). Ovi rezultati prvenstveno se dovode u vezu s individualnom nepriključenošću na novoizgrađeni kanalizacijski sustav.

KLJUČNE RIJEČI: plaže, kvaliteta vode, indikatori fekalnog zagađenja, Uredba

SEA WATER QUALITY EXAMINATION ON THE BEACHES OF PRIMORJE AND GORSKI KOTAR COUNTY IN YEAR 2009. AND 2010.

SUMMARY: There are multiple purposes and practical applications of sea water testing. Laboratory analysis includes physical, chemical and bacteriological examination, which might indicate the risk of contagious diseases during recreation or food production. Microbiological indicators are considered the most important indicators of faecal polution.

Sea water quality testing in 2009 and 2010, on the beaches of Primorje and Gorski kotar County, was conducted according to the Regulation on *sea* bathing *water* quality (OG No. 73/08). Croatian Regulation prescribed new microbiological parameters (*E. coli* and Intestinal enterococci) and limit values.

Area of Primorje and Gorski kotar County is geologicaly characterized with karst but also with highly urbanized litoral area, without fully solved waste water disposal. All this factors can rapidly influence the ground water and sea water as final recipient.

During 2009 and 2010,sea water samples were taken on 236 locations in 2009, and 237 locations in 2010. Sea water quality in our County is characterized with high percentage of excellent grades, over 94% in the last two years.

Beaches in western parts of Rijeka have the most unsatisfactory results and this situation can be related to absence of connectivity of individual households to the public water supply system.

KEYWORDS: beach, water quality, faecal pollution indicators, Regulation on *sea* bathing *water* quality

1. UVOD

Svrha i praktične primjene ispitivanja sanitarne kvalitete obalnog mora su mnogobrojne. Uz procjenu zagađenja mora na plažama i, u tom smislu, sustavnog obavještavanja i zdravstvenog prosvjećivanja javnosti, utvrđuju se izvori zagađenja, određuju prioriteti ulaganja, prati izgradnja kanalizacijskih sustava i funkcioniranje postojećih, postavljaju se zahtjevi za saniranje individualnih izvora zagađivanja mora, tamo gdje je to stručno i ekonomski opravdano.

Ispitivanje kakvoće mora na plažama obuhvaća ispitivanje fizikalnih, kemijskih i bakterioloških osobina morske vode koje upućuju na potencijalni rizik od zaraznih bolesti prilikom rekreacije ili proizvodnje hrane. Mikrobiološki parametri općenito se smatraju najznačajnijim indikatorima zagađenja mora sanitarno-fekalnim otpadnim vodama.

Propisana učestalost ispitivanja tijekom sezone kupanja (svakih 15 dana) neophodna je radi što bolje procjene kakvoće mora. Naime, mikrobiološko zagađenje mora na određenoj lokaciji – točki ispitivanja, može u vremenu jako varirati. Ono ovisi o meteorološkim prilikama i hidrografskim osobinama mora (naoblaka, vjetar, temperatura mora, salinitet, valovi, morske struje) i načinu ispuštanja otpadnih voda (intermitentno ispuštanje otpadne vode, dnevne varijacije količine otpadne vode, rad crpnih stanica itd.).

Program ispitivanja kakvoće mora na području današnje Primorsko-goranske županije provodi se kontinuirano od 1986. godine. U međuvremenu se zakonska podloga za ispitivanje i ocjenjivanje kakvoće mora mijenjala nekoliko puta. Trenutna Uredba o kakvoći mora za kupanje (NN73/08) na snazi je od 1. siječnja 2009. i u skladu je s Europskom *Direktivom o* upravljanju kakvoćom *vode za kupanje* (2006/7/EC).

Navedenom Uredbom uređuje se vremensko razdoblje ispitivanja (od 15. svibnja do 30. rujna), učestalost ispitivanja (najmanje svakih 15 dana u razdoblju ispitivanja), način ispitivanja te parametri i standardi za ocjenu kakvoće mora.

Prostorni plan PGŽ prepoznao je 375 plažna prostora na obalnom dijelu kontinentalnog i otočnog dijela Županije.

Program ispitivanja kakvoće mora na plažama Županije obuhvatio je u 2010. godini 237 mjernih točaka na 182 plaže.

2. PODRUČJE, METODE I STANDARDI OCJENJIVANJA

2.1 . Područje ispitivanja

Kontrola kakvoće mora u 2010. godini, na području Primorsko-goranske županije, provedena je u razdoblju od 15. svibnja do 30. rujna na slijedećim lokalitetima:

- obalni pojas od Mošćeničke Drage do Voloskog na 34 mjerne postaje,
- obalni pojas od Preluke do Uvale Scott na 34 mjerne postaje,
- obalni pojas od Jadranova do Sibinja na 38 mjernih postaja,
- otok Krk (područje Omišlja, Njivica, Malinske, Krka, Punta, Baške i Dobrinja) na 54 mjerne postaje,
- otok Rab (područje Sv. Eufemije, Barbata, Banjola, Pudarice, Suhe Punte, Lopara, Kampora) na 26 mjernih postaja,
- otok Cres (područje Cresa, uvale Martinšćice i Slatina) na 20 mjernih postaja,
- otok Lošinj (područje Osora, Nerezina, Malog Lošinja i Velog Lošinja) na 31 mjernoj postaji.

2.2. Metode ispitivanja

Ispitivanje kakvoće morske vode uključuje terenska opažanja i laboratorijska ispitivanja.

Uzorci morske vode za analizu uzimaju se u sterilne boce od najmanje 250 mL i analiziraju u roku od 6 sati. Prilikom uzorkovanja bilježe se osnovni meteorološki i hidrološki podaci, podaci vezani uz izgled morske vode: vidljiva otpadna tvar i mineralna masnoća, podaci o cvatu mora te temperatura mora i zraka.

Laboratorijska ispitivanja se sastoje od određivanja saliniteta mora i mikrobioloških pokazatelja čistoće mora, crijevnog enterokoka i *Escherichie coli.*

Salinitet se određuje standardnom laboratorijskom metodom (Seven Multi – Mettler Toledo konduktometar). Uzorcima prikupljenima na području Rijeke, Kostrene, Kraljevice i sjevernog dijela otoka Krka salinitet je određivan *in situ* terenskom sondom (YSI Inc, Model 30).

Bakteriološke analize rađene su metodom membranske filtracije. Za izolaciju i dokazivanje crijevnog enterokoka koristi se SLANETZ-BARTLEY AGAR (inkubacija 37 ^{o}C/48h) te potvrdni test na BILE AESCULINE AGARU (inkubacija 44^{o}C/2h). Za izolaciju i dokazivanje *Escherichie coli* koristi se dvoslojni TRYPTIC SOY AGAR / TRYPTONE BILE AGAR (inkubacija 37^{o}C/4h te 44^{o}C/20h) te potvrdni test s INDOL SPOT REAGENSOM.

Rezultati se izražavaju kao broj bakterija u 100 mL morske vode. Rezultati pojedinačnih ispitivanja dostavljani su redovito po izvršenim analizama Ministarstvu zaštite okoliša - Odjelu za zaštitu mora i Inspekciji zaštite okoliša te svim pravnim osobama koje upravljaju plažama s Plavom zastavom. Ovi rezultati objavljivani su na internet stranicama Nastavnog zavoda za javno zdravstvo PGŽ, na adresi: www.zzjzpgz.hr, kao i internet stranicama Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva na adresi www.izor.hr/kakvoca.

2.3 Standardi za ocjenu kakvoće mora

Ocjene pojedinačnih ispitivanja temeljile su na standardima propisanima Uredbom i prikazanima u Tablici 1. Valja napomenuti da su standardi za ocjenu kakvoće mora nakon svakog ispitivanja stroži prema hrvatskoj Uredbi naspram Direktive EU.

Pokazatelj	Kakvoća mora			Metoda Ispitivanja
	Izvrsna	Dobra	Zadovoljavajuća	
crijevni enterokoki (bik*/100 mL)	<60	61-100	101-200	HRN EN ISO 7899-1 ili HRN EN ISO 7899-2
Escherichia coli (bik*/100 mL)	<100	101-200	201-300	HRN EN ISO 9308-1 ili HRN EN ISO 9308-3

* bik – broj izraslih kolonija

Tablica 1: Standardi za ocjenu kakvoće mora nakon svakog ispitivanja

Za konačnu ocjenu kakvoće mora u 2010. godini primijenjeni su kriteriji iz Uredbe o kakvoći mora za kupanje (NN 73/08), što je prikazano u Tablici 2.

Pokazatelj	Kakvoća mora			
	Izvrsna	Dobra	Zadovoljavajuća	Nezadovoljavajuća
crijevni enterokoki (bik***/100 mL)	≤100*	≤200*	≤185**	>185**(2)
Escherichia coli (bik***/100 mL)	≤150*	≤300*	≤300**	>300**(2)

(*) Temeljeno na vrijednosti 95-og percentila(1)

(**) Temeljeno na vrijednosti 90-og percentila (1)

(***) bik – broj izraslih kolonija

Tablica 2. Standardi za ocjenu kakvoće mora na kraju sezone kupanja i za prethodne tri sezone kupanja

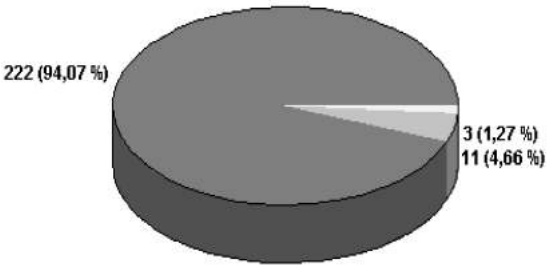
Na temelju navedenih kriterija kakvoća mora ocjenjena je kao izvrsna, dobra, zadovoljavajuća i nezadovoljavajuća.

3. PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA

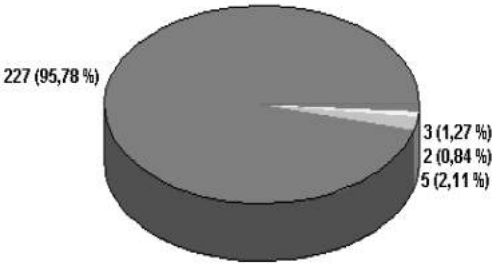
Rezultati su prikazani grafički i tabelarno. Pri grafičkom prikazivanju kakvoće mora korištene su plava boja za izvrsnu, zelena boja za dobru, žuta boja za zadovoljavajuću i crvena boja za nezadovoljavajuću ocjenu kakvoće mora sto je takoder propisano Uredbom.

Slike 1. i 2. prikazuju udio konačnih ocjena u ukupnom ispitivanja u 2009. i 2010 godini. Iako je i u 2010. godini prisutan visoki udio ocjena izvrsne kakvoće, potrebno je skrenuti pažnju na tri točke ispitivanja koje su ove godine ocjenjene nezadovoljavajućom ocjenom. Dvije tocke ispitivanja nalaze na zapadnom dijelu grada Rijeke dok je jedna na

području grada Novog Vinodolskog u mjestu Povile kao posljedica uzastopnog ponavljanja kratkotrajnog zagadenja.

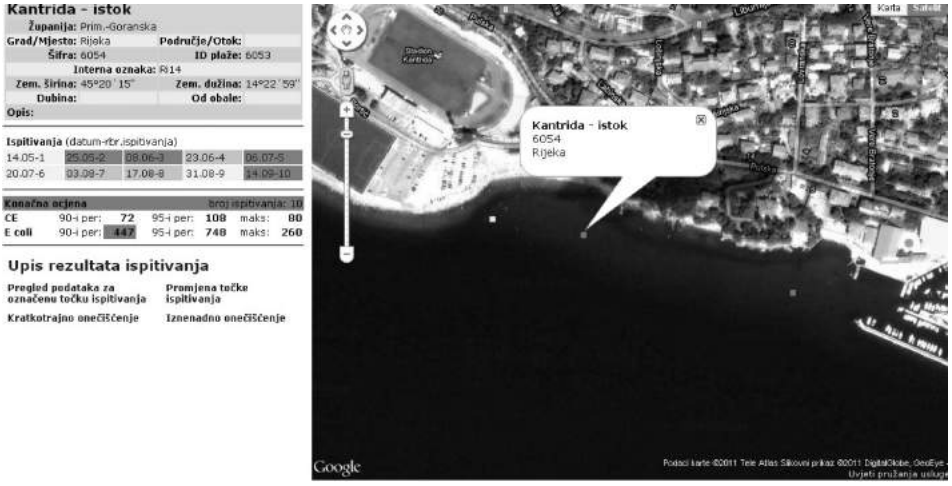


Slika 1. Udio konačnih ocjena u 2009. godini

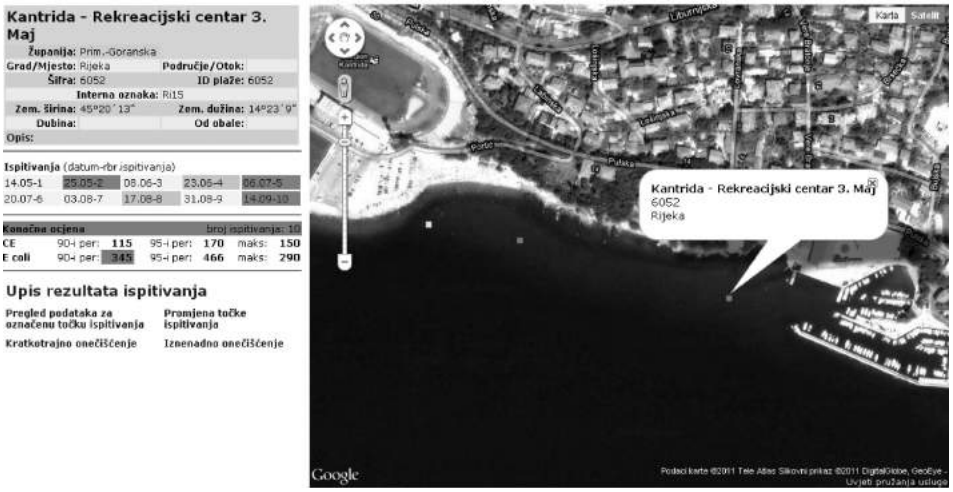


Slika 2. Udio konačnih ocjena u 2010. godini.

Primjenom Uredbe, tj. 95-tog percentila, u izračunavanju konačne ocjene nastoji se dobiti podatak o izloženosti riziku od zagađenja.



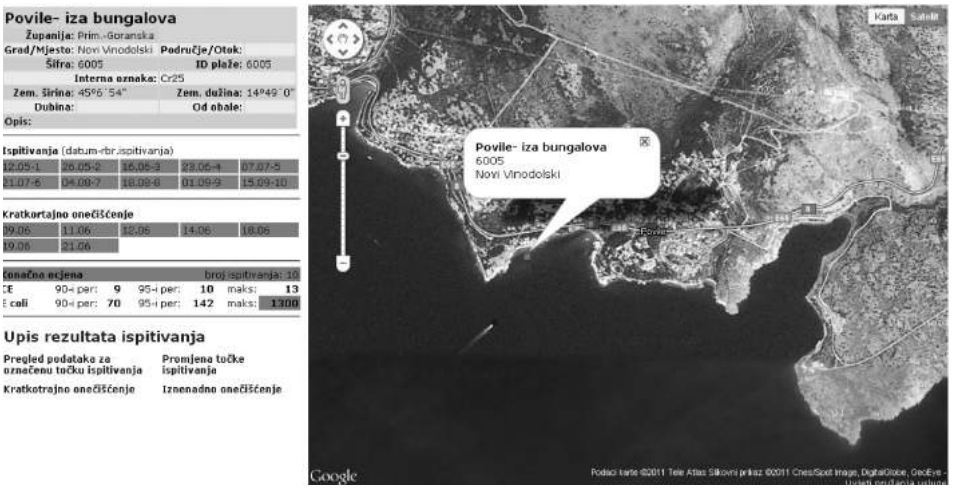
Slika 3. Kartografski prikaz ispitivanja kakvoće mora na području zapadnog dijela Rijeke (Kantrida – istok)



Slika 4. Kartografski prikaz ispitivanja kakvoće mora na području zapadnog dijela Rijeke (Kantrida – Rekreacijski centar "3. MAJ")

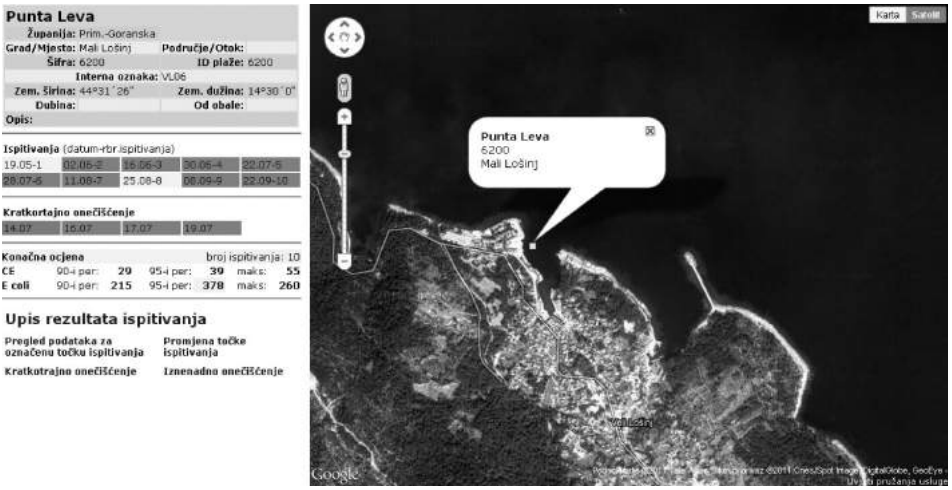
More izvrsne kakvoće općenito karakterizira plaže Primorsko-goranske županije te je njihov udio na plažama izvan velikih urbanih cjelina veći;

U slučaju dvaju točki na području grada Rijeke (Kantrida – istok i Kantrida – Rekreacijski centar "3. MAJ") – Slike 3. i 4., rezultati pojedinačnih ispitivanja nisu prelazili limite za zadovoljavajuću ocjenu, no primjenom 95-tog percentila konačna ocjena je nezadovoljavajuća.



Slika 5. Kartografski prikaz ispitivanja kakvoće mora na području Povila, Novi Vinodolski

U navedenom razdoblju ispitivanja došlo je do kratkotrajnog onečišćena mora na području grada Novog Vinodolskog, u mjestu Povile (Slika 5.), slijedom čega je Inspekcija zaštite okoliša obavila terenski izvid i izdala zabranu kupanja na plaži Povile. Ovlaštenoj osobi u gradu Novom Vinodolskom usmeno, na zapisnik, naređeno je otklanjanje posljedica onečišćenja te je slijedom toga postavljen znak zabrane kupanja. Naknadna ispitivanja kakvoće mora pokazala su zadovoljavajuće rezultate te je oznaka zabrane kupanja ukinuta.



Slika 6. Kartografski prikaz ispitivanja kakvoće mora na lokaciji Punata Leva, Veli Lošinj.

U slučaju kratkotrajnog onečišćenja mora na području Velog Lošinja, na lokaciji Punta Leva (Slika 6.), Inspekcija zaštite okoliša, nakon ponovljenog uzorkovanja koje je pokazalo zadovoljavajuće rezultate, nije imala daljnja postupanja. Međutim, konačna ocjena kakvoće mora na navedenoj točki bila je zadovoljavajuća.

ZAKLJUČAK

U 2010. godini ukupno je pregledan 2381 uzorak na 237 lokacija, od čega je na 227 točaka uzorkovanja završna ocjena kakvoće mora bila izvrsna; što predstavlja 95,78 % ukupnih rezultata. Na pet lokacija uzorkovanja završna ocjena kakvoće mora bila je dobra (2,11%), na dvije lokacije završna ocjena kakvoće mora bila je zadovoljavajuća (0,84%), dok je na tri lokacije (1,27%) završna ocjena kakvoće mora bila nezadovoljavajuća.

Primjenom Uredbe o kakvoći mora za kupanje (NN 73/08) podaci dobiveni programom ispitivanja kakvoće mora postaju usporedivi s onima u zemljama Europske Unije, a prvenstveno s plažama na Mediteranu.

Završne ocjene kakvoće mora na području zapadnog dijela Rijeke (6054 Kantrida-istok i 6052 Kantrida- rekreacijski centar „3 MAJ“) ukazuju i dalje na visok rizik od fekalnog zagađenja, odnosno na utjecaj fekalnih voda koje i dalje završavaju u tom dijelu mora, a ne u kanalizacijskom sustavu.

Tijekom ispitivanja kakvoće mora u sezoni 2010. imali smo dva kratkotrajna zagađenja na području grada Novog Vinodolskog (6005 – Povile, iza bungalova) te grada Malog

Lošinja (6200 – Punta Leva), slijedom čega je obaviještena Uprava za inspekcijske poslove sektor nadzora građevinske inspekcije, Podrucna jedinica u Rijeci.

Za poboljšanje kakvoće mora, uz izgrađenost sustava odvodnje otpadnih voda, važna je priključenost svih područja ili svih objekata na pojedinim područjima na komunalni sustav jer će u protivnom i dalje postojati točkasti izvori onečišćenja mora koji pogoršavaju kakvoću mora. Uz širenje mreže priključaka maksimalnu pažnju treba posvetiti održavanju izgrađenih kanalizacijskih sustava.

Važan segment ispitivanja kakvoće mora za kupanje u našoj županiji bilo je pravovremeno obavješćivanje javnosti o rezultatima ispitivanja kroz tiskane i elektroničke medije te je sukladno tome NZZJZ unaprijedio izgled, ali i interaktivnost vlastitih internet stranica.

Ispitivanja kakvoće mora na morskim plažama potrebno je i dalje sustavno provoditi kao važnu mjeru zaštite zdravlja stanovništva i uspješne promidžbe turizma.

LITERATURA

[1] Uredba o kakvoći mora za kupanje (NN 73/08).

[2] www.izor.hr/plaze (Mrežna programska aplikacija za unos, obradu i valorizaciju podataka te izvješćivanje i informiranje javnosti o kakvoći mora za kupanje), Ministarstvo zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva.

[3] Directive 2006/7/EC of the European Parliament and the Council of 15 February 2006, Concerning the management of bathing water quality repealing Directive 76/160/EEC

[4] *(hrv: Direktiva 2006*/7/EC Europskog parlamenta i Vijeca od 15. veljače *2006. o* upravljanju kakvoćom *vode za kupanje*, a kojom se ukida *Direktiva* 76/160/EEZ).

[5] Krstulović N., Šolić M., Mikrobiologija mora, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split 2002.

AUTORI

Denis Pešut, dipl.ing.[a]
mr.sc. Nikolina Furlan, dipl.ing.[a]
dr.sc. Darija Vukić Lušić, dipl.ing.[a,b]
Blanka Pružinec Popović, dr.med.[a]
prof.dr.sc. Vladimir Mićović, dr.med.[a,b]
mr.sc. Dražen Lušić, dipl.ing.[b]

[a] Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Krešimirova 52 a, Rijeka, 51000, Hrvatska,
mh2o@zzjzpgz.hr, darija@zzjzpgz.hr, ravnatelj@zzjzpgz.hr

[b] Medicinski fakultet Rijeka, Katedra za zdravstvenu ekologiju, Braće Branchetta 20, Rijeka, 51 000, Hrvatska, darija@zzjzpgz.hr, ravnatelj@zzjzpgz.hr, lusicd@medri.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.60.

VIRTUALNI LABORATORIJ – SUSTAV ZA PRAĆENJE PROMJENJIVOSTI FIZIKALNIH PARAMETARA U ATMOSFERI, GRANIČNOM SLOJU ATMOSFERA-MORE I U MORU

Branka Grbec, Mira Morović, Alica Bajić

SAŽETAK: Temeljna ideja uspostave Virtualnog Laboratorija kao međuinstitucionalnog laboratorija Instituta za oceanografiju i ribarstvo i Državnog hidrometeorološkog zavoda praćenje je promjenjivosti fizikalnih parametara u atmosferi, graničnom sloju atmosfera-more i u moru, kao podloga za objašnjenje složene dinamike Jadrana. Korištenjem suvremenih načina mjerenja i analize uz pomoć modernih informacijskih tehnologija na stranicama ViLab-a dostupne su informacije o izmjerenim i prognoziranim parametrima u atmosferi i moru na raznim prostorno-vremenskim skalama. Fizikalni procesi u moru većim dijelom ovise o utjecaju atmosfere. U obalnim područjima i rubnim morima kao što je Jadran primarni proces jest izmjena mase na površini mora pri čemu je bitan čimbenik vjetar koji djeluje na površinske struje i na struje dubljih slojeva. Vjetar djeluje na procese vertikalnog miješanja i transporta vodenih masa i konvekcije, te na isparavanje s površine mora i gubitak latentne topline. Stoga je analiza i prognoza prostorne i vremenske promjenjivosti smjera i brzine vjetra na području Jadrana sastavni dio istraživanja međudjelovanja atmosfere i mora, kao i dinamičkih procesa u moru. Najjednostavniji način praćenja dinamičkih procesa u moru je praćenje promjenjivost termohaline cirkulacije. Temperatura i salinitet vodenog stupca kontinuirano se na nekoliko profila preko Jadrana prate od 50-ih godina prošlog stoljeća. Vertikalni profili temperature i saliniteta u skoro realnom vremenu (neposredno nakon mjerenja) dostupni su u grafičkom obliku na stranicama ovoga laboratorija: http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory.

KLJUČNE RIJEČI: Atmosfera, granični sloj more-atmosfera, termohalina svojstva.

VIRTUAL LABORATORY - A SYSTEM FOR MONITORING THE VARIABILITY OF PHYSICAL PARAMETERS IN THE ATMOSPHERE, THE ATMOSPHERE-SEA BOUNDARY LAYER AND SEA

SUMMARY: The basic idea for establishment of Virtual Laboratory as a inter-institutional laboratory between Institute of Oceanography and Fisheries and the State Meteorological Office has been to monitor the variability of physical parameters in the atmosphere,

air-sea boundary layer and sea, as a basis for understanding the complex dynamics of the Adriatic Sea. Using modern methods of measurement and analysis with modern information technologies, the ViLab site provides information of measured and estimated parameters in the atmosphere and the sea at various spatial and temporal scales. Physical processes in the sea largely depend on the atmospheric influences. In coastal areas and marginal seas, such as the Adriatic Sea, the primary process is the exchange of mass at the sea surface where the wind is an important factor influencing the surface and deeper layer currents. Wind causes vertical mixing, water mass transport and convection, and evaporation from the surface and latent heat loss. Therefore, the analysis and forecast of spatial and temporal variability of the wind speed and direction in the Adriatic is integral part of the study of interactions between the atmosphere and the sea, as well as dynamic processes in the sea. The simplest method of monitoring dynamic processes in the sea is to monitor the variability of buoyancy-driven circulation. Temperature and salinity of the water column are continuously monitored at several profiles across the Adriatic since 50-ies last century. Vertical profiles of temperature and salinity in a near real time (immediately after the measurements) are available in graphical form at http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory.

KEW WORDS: Atmosphere, air-sea boundary layer, thermohaline properties.

1. UVOD

Termohaline osobine površinskog sloja mora ovise o nizu fizikalnih čimbenika koji su dijelom rezultat procesa u moru te procesa na granici s atmosferom. Te procese možemo uvjetno dijeliti na oceanografske i meteorološke. Oceanografski procesi koji uvjetuju promjenu površinske temperature mora te promjene u dubljim slojevima su advektivni prijenosi topline morskim strujama, prijenosi topline molekularnim putem i turbulentna gibanja uvjetovana nestabilnošću vodenog tupca. Učinci interakcije atmosfera-more kao što je tok topline, tj. razlika topline koju more primi iz atmosfere i one topline koju njoj (atmosferi) predaje, uzrokuju znatne vertikalne promjene topline površinskog sloja mora. I druge osobine mora također se mijenjaju pod djelovanjem horizontalnih i vertikalnih procesa. Sadržaj soli površinskog sloja mora, o čemu ovisi njegov salinitet, podložan je promjenama koje se događaju zbog procesa isparavanja, znači gubitka mase, odnosno povećanja sadržaja soli u moru, slatkovodnih dotoka oborinom te u obalnim područjima rijekama i vruljama – procesima koji razrjeđuju more, tj. čine ga manje slanim. Metorološki procesi nad morem reflektiraju se unutar graničnog sloja gdje se stalnom izmjenom svojstava između dvaju medija mijenjaju fizikalni, kemijski i biološki procesi u moru i na njegovoj površini. Opća slika izmjene topline i mase nad Jadranom opisuje se procesima izmjene u graničnom sloju koji povezuje atmosferu i more na sezonskoj i višegodišnjoj skali. U području srednjeg Jadrana, ovisno o udaljenošću od obale, te o primjeni različitih poluempirijskih jednadžbi za određivanje evaporacije dobivaju se različiti izračuni tokova topline i vlage. Poznavanje uvjeta na granici neophodan je korak u modeliranju, i općenito forsiranju mora pod djelovanjem atmosfere.

Srednji je Jadran geografski smješten u području gdje su sezonske promjenjivosti glavnih atmosferskih parametara kao što su solarno zračenje, vjetar, temperatura i oborina glavni uzročnici sezonske promjenjivosti izmjene topline i vlage između atmosfere i mora. Kli-

ma je, uz jaki orografski utjecaj dalmatinskog planinskog lanca (Dinaridi) kao modifikatora klime, uglavnom sredozemna. Jaka ciklonalna aktivnost, naročito u hladnom dijelu godine osigurava prisustnost različitih tipova vremena nad ovim područjem, s čestim izmjenama bure i juga. Nasuprot tome, ljeti je vrijeme, kao posljedica utjecaja subtropskog sistema visokog tlaka zraka, mirno i tiho uz dobro razvijenu dnevno-noćnu cirkulaciju. Izmjena vlage (mase) na granici atmosfera-more također je sezonski ovisna u Jadranu. Evaporacija ima minimum tijekom ljeta, tj. tijekom sezone grijanja, a istovremeno je i oborina u tom dijelu godine minimalna. Idući dalje od obale oborina se zbog izostanka orografski uvjetovane oborine smanjuje. Sezonski hod E-P razlikuje se stoga signifikantno idući prema otvorenom moru. Utjecaj bure (jaki vjetar u suhoj atmosferi) pogoduje jačem isparavanju, pa je i to dodatni čimbenik prostorne promjenjivosti godišnjih hodova izmjene topline na granici atmosfera-more.

Za vrijeme ekstremnih vremenskih situacija, npr. za vrijeme jakih epizoda bure gubitak topline izrazito je velik. Ovaj proces u graničnom sloju uzrokuje dvije, za termohalinu cirkulaciju (THC) vrlo bitne stvari: 1) hlađenje površinskog sloja mora jer se procesom isparavanja gubi toplina; 2) postupni porast saliniteta površinskog sloja mora jer procesom isparavanja površinski sloj mora gubi vlagu. Ovo su preduvjeti stvaranja teške vode, čije je formiranje u sjevernom Jadranu povezano s mezoskalnom dinamikom na vremenskim skalama od sinoptičke, sezonske, interdekadne i sekularne. Prepoznavajući važnost procesa u graničnom sloju atmosfera-more u okviru Virtualnog laboratorija za sada se prate površinske temperature mora na nekoliko postaja duž istočne obale Jadrana. Procesi na granici (protok topline i vlage) parametrizirani za praćenje u realnom vremenu biti će uskoro dostupani.

2. STRUKTURA VIRTUALNOG LABORATORIJA

Praćenje promjenjivosti fizikalnih parametara odvija se kroz praćenje parametara u atmosferi, graničnom sloju i u moru te su u skoro realnom vremenu analizirani podaci vidljivi na web stranici projekta (Slika 1; http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory).

Atmosfera

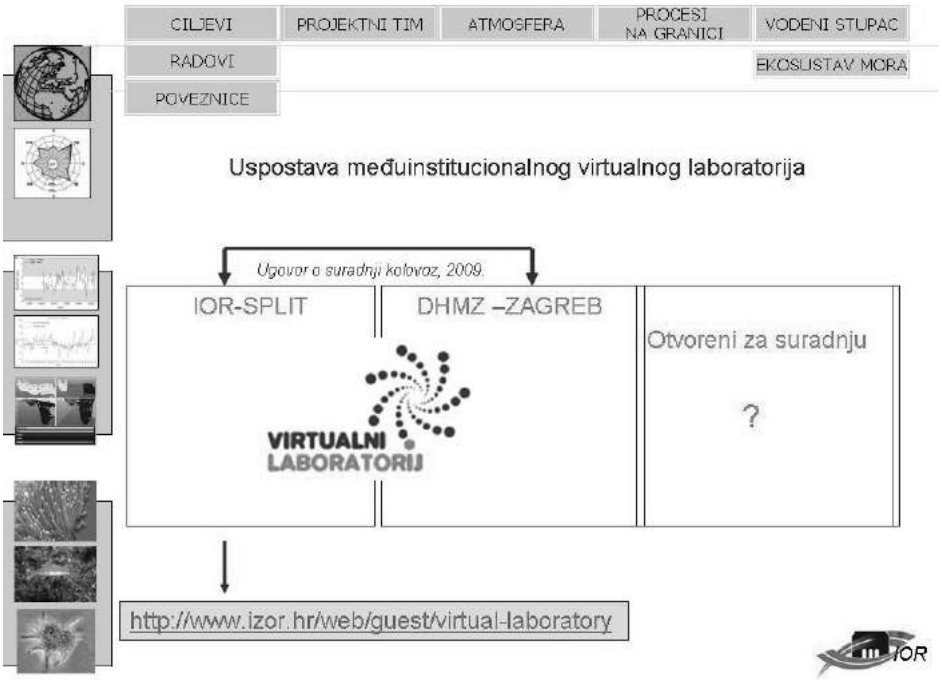
Stanje u atmosferi u skoro realnom vremenu prati se numeričkim prognostičkim modelom ALADIN. ALADIN je spektralni model s hibridnom η koordinatom, koji koristi semi-implicitnu semi-lagrangijansku shemu integracije s dva vremenska koraka.

Fizikalnu parametrizaciju ALADINA sačinjavaju parametrizacija vertikalne difuzije i plitke konvekcije, stratiformni i konvektivni procesi razmatraju se pojedinačno s Kessler-ovom vrstom parametrizacije velike skale tzv. „razlučenom oborinom" i modificiranom Kuo-ovom shemom duboke konvekcije, parametrizacija kratkovalnog i dugovalnog zračenja. Tlo (uključujući i more) je opisano s dva sloja što uključuje razmjenu topline i vlage između tla i atmosfere.

Postavke modela ALADIN uključuju: hidrostatsku verziju s 37 vertikalnih nivoa s tim da je najniži nivo modela na 17 m, horizontalna razlučivost iznosi 8 km, prognostičko razdoblje je 72 sata. Kao dodatna prognoza smjera i brzine vjetra u prizemnom sloju koristi se metoda dinamičke adaptacije na mrežu točaka horizontalne razlučivosti od 2 km na smanjenoj domeni (Bajić, i sur., 2009; Horvath, i sur., 2009). Rezultati prognoze za

određeni termin na 8 km horizontalnoj razlučivosti interpoliraju se na mrežu točaka 2 x 2 km. Nakon toga slijedi dinamička adaptacija duljine 30 vremenskih koraka (vremenski korak 60 sekundi) s reduciranim brojem nivoa iznad 1 km visine iznad tla.

Za potrebe ovoga laboratorija za vrijeme terenskih istraživanja na moru uzduž dvaju standardnih oceanografskih profila: Split-Gargano i Šibenik–Ortona daju se ALADIN produkti koji nisu u standardnoj prognostičkoj obradi DHMZ-a: površinska temperatura mora svaka 3 sata za cijeli Jadran, vjetar i tlak zraka svaka 3 sata za cijeli Jadran, te vertikalni profili smjera i brzine vjetra nad oceanografskim profilima.



Slika 1. Međuinstitucionalni virtualni laboratorij DHMZ-a i IOR-a

Granični sloj

Temperatura površine mora vrlo je važna za procese u atmosferi jer ukazuje na toplinsko stanje ogromnih vodenih masa, te za procese u moru jer stalnom izmjenom svostava između atmosfer i mora toplinsko stanje površinskog sloja mora kontrolira toplinske osobine vodenog stupca. Površinska temperatura mora mjeri se kao meteorološki parametar na stalnim obalnim postajama u okviru rada DHMz-a, a u ovome se laboratoriju daju srednje dnevne vrijednosti temperature mora na 9 postaja te njihove anomalije. Rezultati praćenje površinske temperature mora već su niz godina sadržani i u Biltenu DHMZ-a.

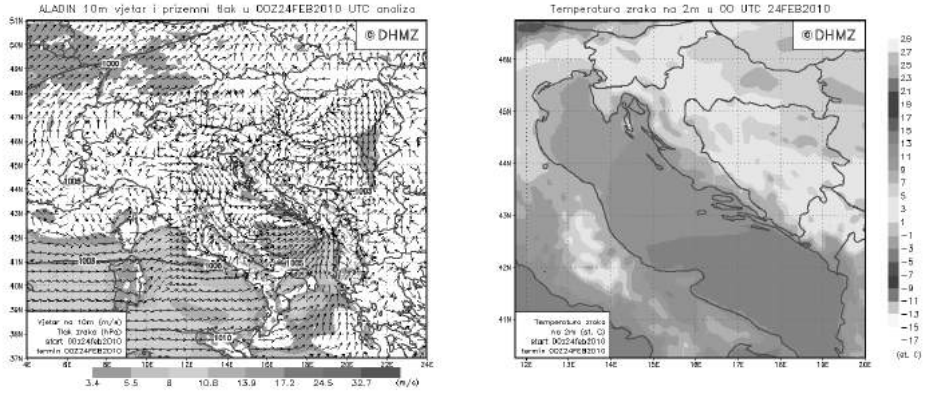
More

Termohalina se promjenjivost pod djelovanjem različitih procesa različito mijenja u površinskom sloju, u intermedijalnom i pridnenom (Beg Paklar i sur., 2010; Grbec i sur., 2010). Promjenjivost temperature i saliniteta tijekom godine, te iz godine u godinu

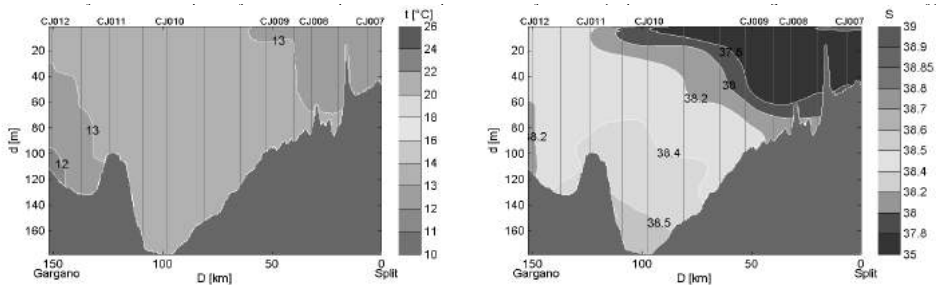
opisna je na stranicama Virtualnog laboratorija, a rezultati mjerenja od 2006. godine na oba profila preko Jadrana: Split-Gargano i Šibenik-Ortona dostupni su u grafičkom obliku. Zahvaljujući razvijenim procedurama analize podataka, neposredno nakon mjerenja višeparametarskom CTD sondom, izrađuju se prostorni prikazi promjene temperature, saliniteta i gustoće što omogućuje brzi uvid u termohalinu strukturu otvorenih voda srednjeg Jadrana.

3. PRIMJERI PRODUKATA VIRTUALNOG LABORATORIJA

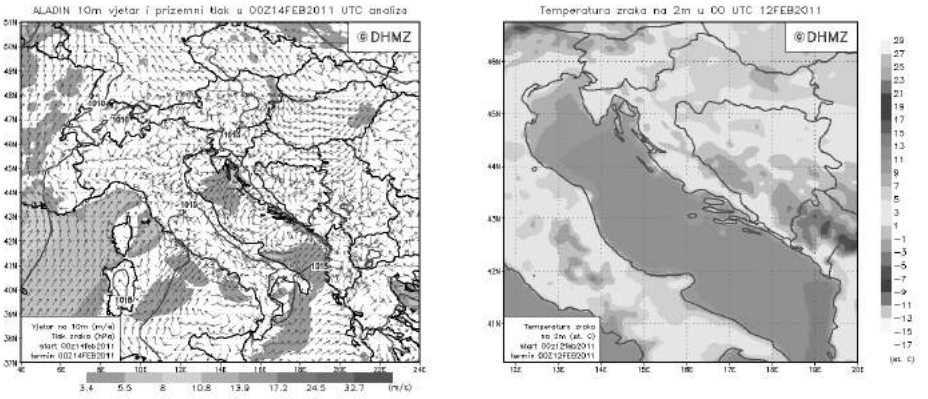
Za prikaz produkata na web stranicama Virtualnog laboratorija odabrane su dvije potpuno različite situacije tijekom veljače 2010. i 2011. Na web-u se prikazuju rezultati oceanografskih istraživanja zajedno sa prikazima stanja atmosfere (vjetar i polje tlaka) te površinske temperature mora. Na slikama 2-5, za razdoblja terenskih istraživanja u veljači 2010. i veljači 2011. dani su prikazi meteoroloških i oceanografskih produkata. Veljača je mjesec u kojemu more procesima isparavanja gubi najviše topline pri čemu vjetar, naročito bura igra znatnu ulogu. Veljača 2010. godine je po učestalosti i trajanju dana s burom bila neuobičajena, naime bura je gotovo izostala, a mjesec je bio karakteriziran učestalim prodorima vlažnog i oborinom bogatog zraka.



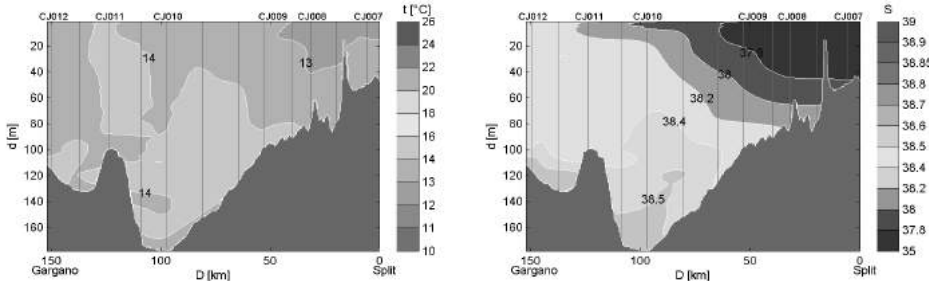
Slika 2.Tlak i vjetar nad širim područjem Jadrana i površinska temperature u veljači 2010.(http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory).



Slika 3. Razdioba temperature i saliniteta na profilu Split-Gargano u veljači 2010. (http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory).



S1ika 4. Tlak i vjetar nad širim područjem Jadrana i površinska temperature u veljači 2011. (http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory).



Slika 5. Prostorna razdioba temperature i saliniteta na profilu Split-Gargano u veljači 2011. (http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory)

Ovi su se atmosferski uvjeti odrazili na površinski sloj mora kao i na njegove dublje slojeve. Oceanografska su istraživanja obavljena na profilu Split-Gargano. Mjerenja temperature i saliniteta pokazuju u površinskom sloju sadržaj hladnije i nešto slađe vode (saliniteta do 37.8) horizontalno raširene dalje od obale, sve do otoka Visa i otvorenih voda srednjeg Jadrana. Po dubini slojevi su bili temperaturno homogeni, a zbog znatne količine slatke vode, što je neuobičajeno za ovo doba godine, postojala je dalje od obale vertikalna neujednačenost sadržaja soli u vodenom stupcu.

Terensko istraživanje u veljači 2011. godine obuhvaća razdoblje zimskih uvjeta u kojemu je morska voda već potpuno ohlađena i vertikalno homogenizirana, što je uobičajeno za zimsku sezonu. U ovom je razdoblju naglašeno vertikalno homogeno polje temperature. U polju saliniteta vodeni je stupac homogen do dubine od 50 m u području otvorenih voda koje nisu pod direktnim utjecajem slatkovodnih dotoka s kopna. Temperatura je u otvorenim vodama horizontalno i vertikalno varirala od 13 do 14 ^{0}C. Temperature u pridnenim slojevima otvorenog mora su bile do 0.8 ^{o}C više od temperatura u veljači 2010. U atmosferi je veljača 2011. bila uobičajena. U veljači 2011. u čitavom vodenom stupcu su prisutne nešto više temperature. Različiti uvjeti u moru mogu se odraziti i na različite uvjete u ekosustavu, te su naši daljnji napori usmjereni istraživanju povezanosti atmosfersko-oceanografskih utjecaja na ekosustav mora (Grbec i sur., 2009).

ZAKLJUČAK

U svjetlu rastućih i naglih promjena klime poznavanje interakcije atmosfera-more postaje ključna karika praćenja termohaline cirkulacije. Jadran je more osjetljivo na klimatske promjene, a atmosferski forsirana termohalina cirkulacija i izmjena vode s istočnim Sredozemljem dijelom kontrolira promjene u ekosustavu. Kako je varijabilnost važna osobina ekosustava doprinost praćenju njegove fizikalne promjenjivosti čini se svrsihodnim.

LITERATURA

[1] Bajić, A., Ivatek-Šahdan, S., Horvath, K. (2009): Prostorna razdioba brzine vjetra na području Hrvatske dobivena numeričkim modelom atmosfere ALADIN. Hrvatski meteorološki časopis.42, 66-77.

[2] Horvath, K., Bajić, A. i Ivatek-Šahdan, S.(2009): Dynamical downscaling of wind resources in complex terrain of Croatia, Proceedings of the EWEC 2009., Marseille, Francuska.

[3] Grbec, B., Bajić, A. and ViLab team (2010). Virtual laboratory. Institute of Oceanography and Fisheries, Split. Meteorological and Hydrological Service, Zagreb.

[4] Grbec, B., Morović, M., Matić, F., Vilibić, I., Beg Paklar, G. Unusual preconditioning vs. generation phase of the North Adriatic Dense Water in 2007/2008. CIESM; 2010.

[5] Beg Paklar, G., Janeković, I., Dutour Sikirić, M., Vilibić, I., Dadić V. and Grbec, B. (2010): Circulation variability in the Adriatic Sea and in small coastal domains along the eastern Adriatic coast during 2007 and 2008. CIESM, 2010.

[6] Grbec, B., Morović, M., Kušpilić, G., Matijević, S,. Matić, F., Beg Paklar, G. Ninčević Ž.(2009): The relationship between the atmospheric variability and productivity in the Adriatic Sea area. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 89 8; 1549-1558.

AUTORI

dr. sc. Branka Grbec [a]
dr.sc. Mira Morović [b]
mr.sc. Alica Bajić [c]

[a] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šet. I. Meštrovića 63, Split, 21000, Hrvatska, grbec@izor.hr

[b] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šet. I. Meštrovića 63, Split, 21000, Hrvatska, morovic@izor.hr

[c] Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska bajic@cirus.dhz.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.61.

MJERENJE MORSKIH STRUJA I VALOVA U ŠIBENSKOM KANALU

Damir Bekić, Dalibor Carević, Gordon Gilja, Neven Kuspilić

SAŽETAK: U radu se prikazuje metodologija mjerenja morskih struja i vjetrovnih površinskih valova, te način obrade sirovih podataka i rezultati obrade za mjerenje ADCP strujomjerom s morskog dna. Morske struje i valovi mjereni su u priobalnom području kraj Šibenika ispred Zablaća na dubini od 15 m. Tijekom mjesec dana dobiveni su sirovi podaci o brzini morskih struja, oscilacijama tlaka na dnu vodenog stupca i oscilacijama visine vodenog stupca. Kao rezultat obrade dobiveni su statistički podaci morskih struja i površinskih vjetrovnih valova na mjernoj poziciji. Kako morske struje izravno sudjeluju u pronosu eventualnih onečišćenja, važno ih je poznavati pri procijeni utjecaja mogućih zahvata u prostoru na ekološko stanje mora. Mjerenjem ADCP strujomjerom prikupljene su vremenske serije morskih struja i valova što omogućuje obuhvatniji pregled i spoznaju o oscilacijama mora u priobalnom području.

KLJUČNE RIJEČI: ADCP, morske struje, tlak na dnu, fizička površina mora, površinski vjetrovni valovi

MEASUREMENTS OF SEA CURRENTS AND WAVES IN ŠIBENIK CHANNEL

SUMMARY: This paper presents methodology of meaurement of sea currents and surface waves, processing of „raw“ data and results of ADCP survey from the sea bed. Measurements of sea currents and waves were made in coastal zone of Zablaće near town Šibenik at the 15 m depth. During a month period recordings collected „raw“ data on sea currents, bottom pressure and surface tracks. Data processing resolved specific statistical parameters of sea currents and surface waves at the designated location. As the sea currents are actively involved in the transport of possible pollutions, the knowledge of their behaviour is of great interest in an assessment of the impact of human activities on costal zone environment. Measurements of time series of sea currents and waves by ADCP from sea bottom provide comprehensive overview and knowledge of sea oscillations in costal zone.

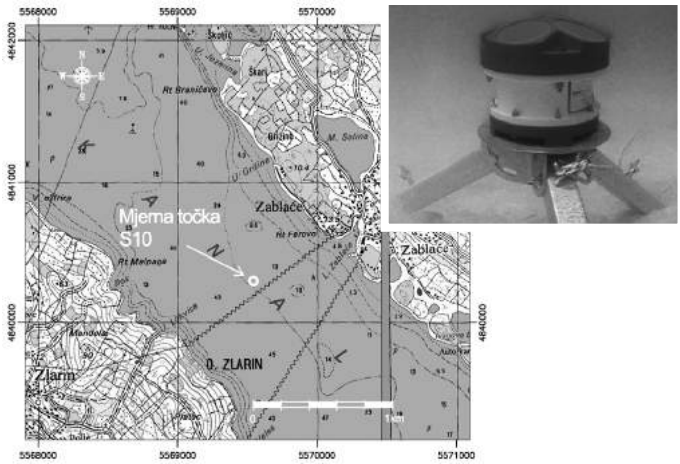
KEYWORDS: ADCP, sea currents, bottom pressure, sea surface, wind-generated waves

1. UVOD

Morske struje predstavljaju usmjereno gibanje vodene mase unutar vodenog stupca mora. U nekom području mora struje općenito nastaju pod utjecajem različitih sila uzročnica, a čine ih gradijentne struje, struje morskih dobi te struje koje nastaju pod utjecajem vjetra na površini mora. U određenom morskom bazenu na struje utječu i veličina bazena te topografija obale i morskog dna. Poznavanje morskih struja i valova u nekom akvatoriju značajno je za veliki broj djelatnosti, a kako su morske struje izravni nositelji eventualnih onečišćenja važno ih je poznavati kako bi se mogao procijeniti utjecaj gospodarskih aktivnosti na ekološko stanje mora.

Kontinuirana mjerenja morskih struja postavljanjem akustičkog Dopplerovog strujomjera (ADCP-Acoustic Doppler Current Profiler) na morsko dno danas je već standardna metoda mjerenja u Jadranskom moru (MZOPU, 2009). Mjerenja morskih struja i valova ADCP strujomjerom također su uspoređena i verificirana s rezultatima matematičkih modela u sjevernom dijelu Jadranskog mora (Janeković i Tudor, 2005, Book i drugi, 2008). Osim mjerenja vremenskih serija u jednoj točki postavljanjem na morsko dno, u sklopu projekta PRISMA1 (Programma di Ricerca e di Sperimentazione per il mare Adriatico) izrađena su i mjerenja prostornih serija u Jadranskom moru postavljanjem ADCP strujomjera na brodicu koja su obrađena u radu (Ursella i Gačić, 2001). Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu izvršio je mjerenje morskih struja i valova u Šibenskom kanalu ispred Zablaća (Slika 1). Cilj ovih mjerenja bila je dobivanje osnovnih karakteristika oscilacija mora u Šibenskom kanalu za kratkoročnu vremensku situaciju, korištenjem suvremene i pouzdane mjerne tehnike (Strong, 2000).

ADCP strujomjerom izvršeno je kontinuirano mjerenje morskih struja, oscilacije tlaka na dnu i visine vodenog stupca u vremenskom periodu od 30 dana na poziciji S10 (Slika 1). „Sirovi" ADCP podaci iz mjerenja početno su obrađeni korištenjem računalnog programa „WavesMon", a zatim prikazani korištenjem MathLab programskog paketa. Obradom podataka dobiveni su statistički podaci morskih struja i površinskih vjetrovnih valova na mjernoj točki S10.



Slika 1. Lokacija mjerne točke S10 u Šibenskom kanalu (f=43.42°, l=15.51°).

2. METODOLOGIJA

2.1. Program mjerenja

Pri mjerenju je korišten ADCP strujomjer tipa RDI Monitor frekvencije 600 kHz koji je postavljen na morsko dno na mjernoj točki S10 na dubini od 15 m. Prikupljanje vremenskih serija morskih struja i valova izvršeno je za dva vremenska razdoblja: za Period 1: 16.10.-25.11.2009. te za Period 2: 09.04.-24.04.2010. Tijekom navedenih perioda prikupljene su oscilacije tlaka na dnu vodenog stupca i oscilacije visine vodenog stupa, te brzina i smjer strujanja po visini stupca vode u ćelijama visine 50 cm.

„Sirove" vrijednosti sa strujomjera pohranjuju se u internoj memoriji dok je uređaj postavljen na dno. Strujomjer je postavljen na postolje koje omogućuje vertikalnu orijentaciju uređaja (Slika 1 desno). Mjerenje profila brzina vršeno je svakih 1 sat tijekom 5 minuta s frekvencijom uzorkovanja od 1 Hz. Mjerenje površinskih vjetrovnih valova izvršeno je u razmacima od 1 h tijekom 10 minuta s frekvencijom uzorkovanja od 2 Hz.

2.2. Obrada podataka

Korištenjem računalnog programa „WavesMon" izmjereni „sirovi" podaci o brzini i smjeru struje te oscilacijama tlaka na dnu preračunati su u slijedeće parametre:

- smjer i brzina morske struje po visini vodenog stupca (parametri brzine),
- značajne valne visine, vršni periodi, srednji smjerovi valova (valni parametri),
- dubinu vode.

Oscilacije površine mora dobivaju se direktno iz obrade mjerenja visine vodenog stupca i iz mjerenja tlaka na dnu. Valna visina određuje se na osnovu jedne ili više metoda: iz brzine struje, iz visine stupca vode, te iz tlaka na dnu (Teledyne, 2008). Prethodna iskustva (Birch i drugi, 2004) pokazala su da je točnost mjerenja oscilacija visine stupca vode oko 3.5 puta manja od visine mjerne ćelije. Mjerna ćelija od 50 cm daje približnu točnost mjerenja visine vodenog stupca od 15 cm (prema Birch i drugi, 2004), što nije dostatno za uzorkovanje čitavog spektra oscilacija površine mora, oscilacije površine mora dobiveni su iz mjerenja tlaka na dnu vodenog stupca a valni parametri određeni su iz mjerenja brzine struje. Valni parametri dobiveni su iz orbitalne brzine vodnih čestica ispod površinskih vjetrovnih valova, koje se potom preko linearne (Airyeve) valne teorije pretvaraju u valne parametre (Le Mehaute, 1976).

Svi proračunati parametri su vremenske serije definirane kao osrednjene vrijednosti u periodu uzorkovanja, odnosno za struje 5 minuta ($\overrightarrow{V_{5\min.}}$), za valove 10 minuta ($\overline{H_{s\,10\min.}}$, $\overline{T_{p\,10\min.}}$, $\overline{\theta_{10\min.}}$), i za visinu stupca vode 10 minuta ($\overline{d_{10\min}}$). To znači da kod morskih struja svakoj vremenskoj jedinici (1h) pripada vertikalni profil vektora brzine diskretizacije 50 cm. Za svaku dubinu može se izdvojiti vremenska serija vektora brzine na toj dubini, (npr. $\overrightarrow{V_{5\min.}}$ =f(t), za dubinu 2 m). Ukoliko se za svaku vremensku jedinicu (1h) izračuna rezultantni vektor po dubini, dobije se vremenska serija rezultantnih vektora po dubini: $\overrightarrow{v_{5\min.}}$ =f(t). Kod valova je svaka vremenska jedinica (1h) okarakterizirana

jednim setom valnih parametara (značajna valna visina, vršni period i srednji smjer). Vremenske serije vektora brzina, valnih parametara i dubina su obrađeni pomoću programa MATLAB, te su načinjeni slijedeći prikazi:

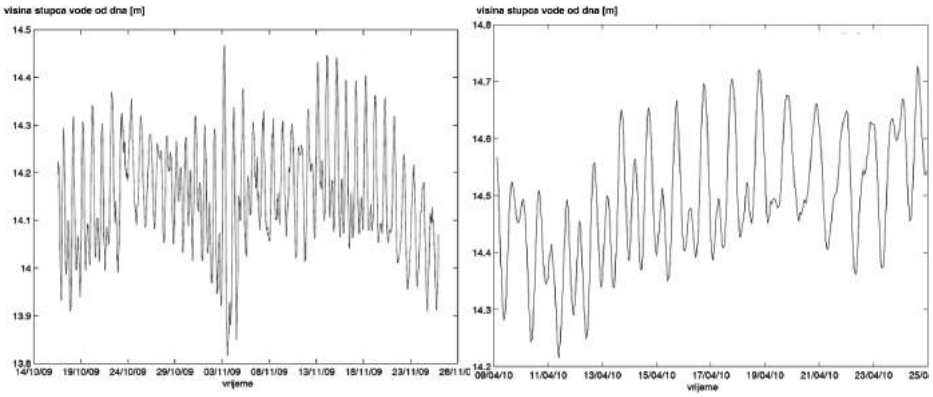
- Oscilacije *površine mora*
- Oscilacije *parametara površinskih vjetrovnih valova* (satni vektori značajne valne visine, satne vrijednosti značajne valne visine, satne vrijednosti vršnog perioda)
- Oscilacije *satnih vektora brzina* (za dubine d=2, 7, 12 m i vektori dobiveni osrednjavanjem po dubini)

Za oznake smjera korištena je konvencija da je smjer morske struje onaj smjer u kojem je usmjeren vektor brzine morske struje, a smjer valova je smjer dolaska valova.

3. REZULTATI MJERENJA

3.1. Oscilacije površine mora

Mjerenjem tlaka na dnu dobivene su oscilacije površine mora koje su prikazane posebno za Period 1 i za Period 2 (Slika 2). Tijekom Perioda 1 (Slika 2a) uočavaju se relativno nagle promjene u razini mora za dane 22.-23.10.2009., te za dan 03.11.2009. Tijekom Perioda 2 (Slika 2b) ne mogu se uočiti relativno nagle promjene u oscilacijama površine mora.



a) Period 1: 16.10.-25.11.2009. (b) Period 2: 09.04.-24.04.2010.

Slika 2.Oscilacije površine mora za mjernu točku S10.

3.2. Vremenske serije parametara površinskih vjetrovnih valova

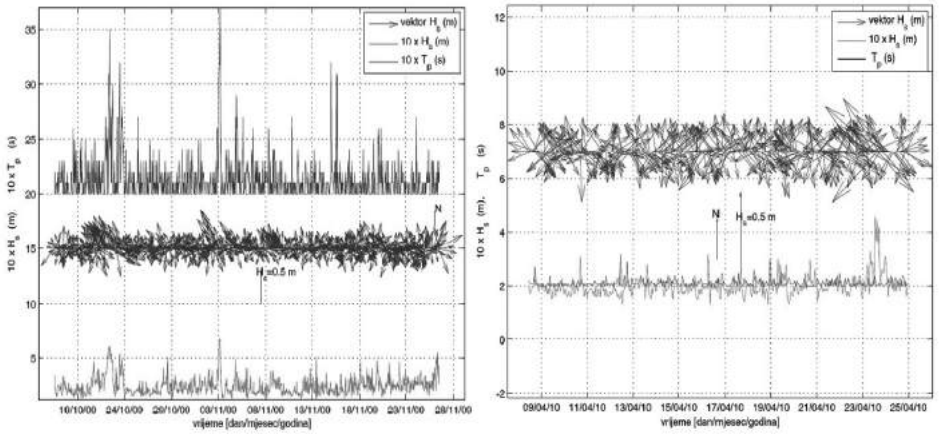
Proračunati parametri površinskih vjetrovnih valova su 10-minutni srednjaci: značajna valna visina $\overline{H_{s\,10\min.}}$ (m), vršni period $\overline{T_{p\,10\min.}}$ (s), te srednji smjer gibanja valova $\overline{\theta_{10\min.}}$ (°). Konfiguracija mjernog uređaja RDI Monitor 600 kHz omogućuje mjere-nje perioda većih od 2s, pa su najmanje izmjerene vrijednosti T_p=2s. Vremenske serije značajne valne visine i vršnog perioda prikazane su za svaki sat mjerenja (Slika 3). Također su prikazani vektori čiji je smjer srednji smjer gibanja valova a vrijednost značajna valna visina, a

označeni su kao „vektor H_s“ (Slika 3). Radi zornijeg prikaza Period 2 (Slika 3b) prikazan je na drugačijoj skali.

Iz prikazanih valnih parametara mogu se za Period 1 (Slika 3a) izdvojiti slijedeće valne situacije:

- 22.10.2009., H_s=0.61m; T_p=2.4s; smjer SE,
- 23.10.2009., H_s=0.52m; T_p=2.9s; smjer SE,
- 03.11.2009., H_s=0.68m; T_p=2.9s; smjer SE,

te za Period 2 (Slika 3b) slijedeća valna situacija:
23.04.2010., Hs=0.46m; Tp=2.4s; smjer SE.



(a) Period 1: 16.10.-25.11.2009. (b) Period 2: 09.04.-24.04.2010.

Slika 3. Kartografski prikaz ispitivanja kakvoće mora na području zapadnog dijela Rijeke (Kantrida – istok)

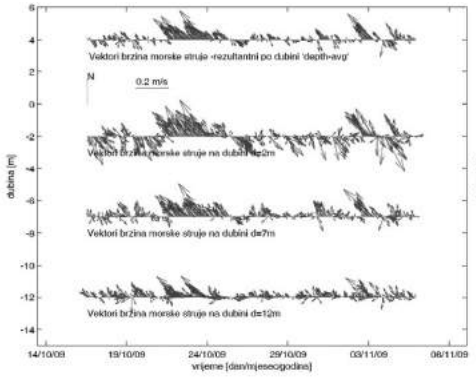
3.3. Satni vektori brzina strujanja

Satni vektori brzina strujanja predstavljaju vremensku seriju vektora osrednjenih u vremenu uzrokovanja od 5 minuta ($\overrightarrow{v_{5\text{min.}}}^{dubina}$). Satni vektori strujanja prikazani su po dubinama 2, 7 i 12 m, te za rezultantni vektor osrednjen po dubini ($\overrightarrow{v_{5\text{min.}}}^{depth_avg}$).

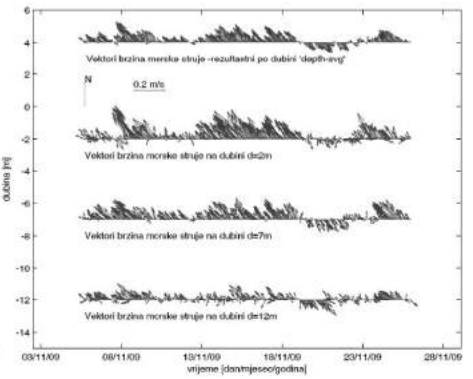
Satni vektori za Period 1 prikazani su na dva dijagrama (Slika 4a i Slika 4b), a Period 2 na jednom dijagramu (Slika 4c). Uočava se da je orijentacija vektora brzina u smjeru prostiranja Šibenskog kanala NW-SE za sve dubine d= 2, 7 i 12 m. Rezultatni vektor osrednjen po dubini ukazuje da je dominantno strujanje u NW smjeru, osim za periode 19.-20.11.2009. te 21.04.2010. kada prevladava strujanje u SE smjeru.

Obzirom na raspored po dubini uočava se da se najjače strujanje javlja u površinskom sloju i da jenjava s dubinom. Najjača strujanja su u NW smjeru za dane 22.-23.10.2009.,

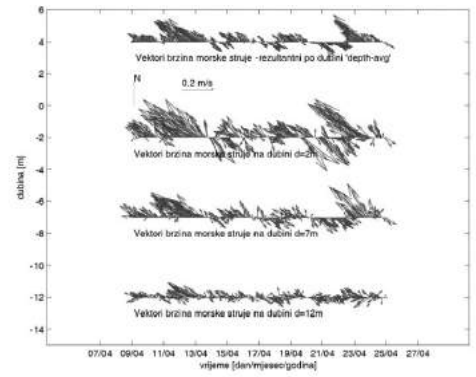
za 03.11.2009., za 11.04.2010., te za 23.04.2010. Uočava se homogen raspored smjera strujanja po dubini pri površinskom strujanju u NW smjeru. Smjer strujanja po dubini je nehomogeno raspoređen pri snažnijem površinskom strujanju u SE smjeru za dane 22.10.2009., 29.-31.10.2009., 03.11.2009., 21.04.2010.



(a) Period 1a: 16.10.-06.11.2009.



(b) Period 1b: 06.11.-25.11.2009.



(c) Period 2: 09.04.-24.04.2010.

Slika 4. Satni vektori morskih struja za dubine d= 2,7 i 12m i za vremensku seriju rezultantnih vektora po dubini ('depth-avg') za mjernu točku S10.

Usporedbom oscilacija površine mora dobivenih iz mjerenja tlaka na dnu (Slika 2) te valnih parametara H_s i T_p dobivenih iz mjerenja brzine strujanja (Slika 3) za valne situacije 22.-23.10.2009. i za 03.11.2009. pokazuje se konzistentnost pojave značajnih promjena u oscilacijama razine mora i najvećih značajnih valnih visina. Za navedene valne situacije konzistentnost se pokazuje i preko najvećih satnih vektora brzine strujanja u cijelom promatranom periodu (Slika 4). Za valnu situaciju 23.04.2010. pokazuje se konzistentnost pojave najvećih značajnih valnih visina (Slika 3) i najvećih vektora brzine strujanja (Slika 4).

Pokazuje se da je kroz promatrane periode, Period 1: 16.10.-25.11.2009. te Period 2: 09.04.-24.04.2010., u Šibenskom kanalu dominantno strujanje u NW smjeru. Najjače strujanje je u NW smjeru i javlja se pri valnim situacijama iz SE smjera (22.-23.10.2009.,

03.11.2009., 23.04.2010.) kada su zabilježene značajne valne visine H_s od 0.46 m do 0.68 m. Pokazuje se da je smjer strujanja jednolik do 7.0 m dubine pri površinskom strujanju u NW smjeru, te nejednolik pri snažnijem površinskom strujanju u SE smjeru.

ZAKLJUČAK

Mjerenja morskih struja i valova na lokaciji ispred Zablaća izvršena su korištenjem ADCP strujomjera postavljenim na dno. Tijekom mjesec dana kontinuirano su mjerene morske struje, oscilacije tlaka na dnu vodenog stupca i visina vodenog stupca. „Sirovi" ADCP podaci iz mjerenja početno su obrađeni korištenjem „WavesMon" računalnog programa. Obradom podataka dobiveni su podaci mjerenja morskih struja i površinskih vjetrovnih valova na mjernoj točki S10. Oscilacije površine mora dobivene su iz mjerenja tlaka na dnu, a valni parametri određeni su iz mjerenja brzine struje. Cilj ovog rada bilo je dobivanje osnovnih karakteristika oscilacija površine mora u Šibenskom kanalu za relativno kraći vremenski period. Orijentacija vektora morske struje je u smjeru prostiranja Šibenskog kanala. Tijekom oba promatrana perioda u Šibenskom kanalu dominantno je strujanje u NW smjeru po čitavoj dubini. Najjače strujanje javlja se u NW smjeru u površinskom sloju i slabi s dubinom a javlja se pri valnim situacijama iz SE smjera. Pokazuje se relativno nepromjeniv smjer strujanja po dubini pri površinskom strujanju u NW smjeru, te promjenijv pri snažnijem površinskom strujanju u SE smjeru. Međusobnom usporedbom oscilacija razine mora, oscilacija valova značajne valne visine i oscilacija satnih vektora brzine strujanja ukazuje se na konzistentnost pojave značajnih promjena u oscilacijama razine mora s pojavama najvećih značajnih valnih visina (H_s = 0.68 m) i najvećih vektora brzine strujanja (v = 25 cm/s) kada vjetar puše (jugo) u smjeru morskih struja.

LITERATURA

[1] Birch, R., Fissel, D.B., Borg, K., Lee V., English D. (2004): *The Capabilities of Doppler Current Profilers for Directional Wave Measurements in Coastal and Nearshore Waters*, Proceedings of Oceans 04 MTS/IEEE/Techno-Oceans 04, Kobe, Japan.

[2] Book, J., Martin, P., Janeković, I., Kuzmić, M. (2007): *Frictional bottom boundary layers for tides: observations, theory, and modeling from the northern Adriatic*, European Geosciences Union 2007, Beč, Austija.

[3] Janeković, I. i Tudor, M. (2005): *The Adriatic Sea wave response to severe bura wind*, Hrvatski meteorološki časopis, br. 40, pp316-319.

[4] Le Mehaute, B. (1976): *An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves*, Springer-Verlag, New York.

[5] Lončar, G., Andročec, V., Janeković, I. (2009): *Numerička analiza zajedničkog rada podmorskih ispusta na području Istre*, Hrvatske vode br. 17, pp221-228.

[6] Republika Hrvatska - Ministarstvo zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva (2009): *Projekt zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području IBRD 7226/HR*, Sveučilište u Zagrebu - Građevinski fakultet, studeni 2009.

[7] Strong, B., Bromley, B.H., Terray, E.A., Stone, G. (2000): *The Performance of*

ADCP-derived direction wave spectra and comparisons with other instruments, Proceedings Oceans 2000, IEEE Press.

[8] Teledyne RD Instruments Inc. (2008): *Waves primer: Wave Measurements and the RDI ADCP Waves Array Technique*.

[9] Ursella, L. i Gačić, M. (2001): *Use of the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) in the study of the circulation of the Adriatic Sea*, Annales Geophysicae, br. 19, pp1183-1193.

AUTORI

dr.sc. Damir Bekić [a]
dr.sc. Dalibor Carević [a]
Gordon Gilja, dipl.ing. [a]
prof.dr.sc. Neven Kuspilić [a]

[a] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, damir.bekic@grad.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.62.

UTJECAJ PODMORSKOG ISPUSTA OTPADNIH VODA NA VODENI STUPAC I SEDIMENT U SREDNJEM JADRANU

Slavica Matijević, Grozdan Kušpilić, Živana Ninčević, Nada Krstulović, Natalija Bojanić, Danijela Bogner

SAŽETAK: U ovom je radu prikazano stanje fizikalno-kemijskih i bioloških parametara iz vodenog stupca i sedimenta na postajama duž podmorskog ispusta otpadnih voda Stobreča u području srednjeg Jadrana u razdoblju od 2002. do 2010. godine. Parametri praćeni u vodenom stupcu su bili: koncentracija kisika, hranjivih soli, klorofila *a*, zastupljenost mikrozooplanktona, broj heterotrofnih i fekalnih bakterija. U sedimentu su mjereni redoks-potencijal, sadržaj organske tvari, sadržaj organskog ugljika i granulometrijski sastav. Promjene su stanja većine parametara iz vodenog stupca u razdoblju nakon aktivacije ispusta (listopad 2004.) bile u skladu sa sezonskim oscilacijama pojedinog parametra i/ili lokalizirane na postaje u blizini ispusta. Ustanovljena je i povišena biomasa fitoplanktona i mikrozooplanktona, ali u vrijednostima koje još ne upućuju na promijenjeni trofički status područja. Promjene u sedimentu cijelog područja (negativniji redoks potencijal i povišeni sadržaj organskog ugljika) u razdoblju nakon aktivacije ispusta su izravna posljedica unosa otopljene anorganske i organske tvari.

KLJUČNE RIJEČI: srednji Jadran, vodeni stupac, sediment, klorofil *a*, mikrozooplankton, redoks-potencijal, organski ugljik

THE INFLUENCE OF THE WASTEWATER OUTLET ON THE WATER COLUMN AND SEDIMENT AT THE MIDDLE ADRIATIC AREA

SUMMARY: In this paper we present the state of physico-chemical and biological parameters from the water column and sediments along the submarine wastewater outlet Stobreč at the middle Adriatic area during 2002-2010. Monitored parameters from the water column were: oxygen saturation, concentrations of nutrients and chlorophyll *a*, microzooplankton abundance, number of heterotrophic and fecal bacteria. Parameters measured in the sediment were: redox-potential, organic carbon and total nitrogen contents, organic matter content and sediment type. During the period after the outlet's activation (October 2004), observed changes in the state of most of the parameters from the water column were in accordance with their seasonal oscilations and/or localized at stations nearest to the outlet. Enhanced phytoplankton biomass and microzooplankton abundance were observed at the entire area but their values still do not indicate to changed trophic

status of the area. Observed changes in sediments (negative redox potential, elevated organic carbon content), during the period after the outlet's activation, are direct consequence of the input of dissolved inorganic and organic matter.

KEY WORDS: middle Adriatic, water column, sediment, chlorophyll a, microzooplankton, redox potential, organic carbon

1. UVOD

U svrhu poboljšanja stanja u Kaštelanskom zaljevu i cjelovitog rješavanja odlaganja otpadnih voda Splita, Solina, Kaštela i Trogira osnovan je integralni projekt „Eko-Kaštelanski zaljev"u okviru kojega je u prvoj fazi izgrađen podmorski ispust Stobreč kojim su u studenom 2004. godine otpadne vode grada Splita iz Kaštelanskog zaljeva preusmjerene u Brački kanal. U ovom su radu prikazani rezultati praćenja stanja fizikalno-kemijskih i bioloških parametara iz vodenog stupca i sedimenta akvatorija u području srednjeg Jadrana koji je pod utjecajem podmorskog ispusta otpadnih voda. Radi bolje interpretacije rezultata i procjene utjecaja ispusta istraživanja su bila provedena u razdoblju prije i nakon aktivacije ispusta u rad u suradnji sa komunalnim poduzećem „Vodovod i kanalizacija d.o.o. Split". Odabrani parametri istraživani u vodenom stupcu su ključni za produktivnost područja (koncentracija hranjivih soli, otopljenog kisika, klorofila *a*, zastupljenost mikrozooplanktona i bakterioplanktona te fekalnih bakterija). Odabrani parametri ispitivani u sedimentu (redoks-potencijal, sadržaj organske tvari, sadržaj organskog ugljika) su dobri pokazatelji unosa organske tvari, proizvedene u vodenom stupcu ili unešene antropogenim putem, kao i procesa njene razgradnje u sedimentu.

2. MATERIJALI I METODE

Istraživanja morske vode i sedimenta su vršena na 6 postaja smještenih duž podmorskog ispusta otpadnih voda Stobreč u Bračkom kanalu u razdoblju prije (od 2002. do 2004.) i poslije aktivacije ispusta otpadnih voda (2004. do 2009. godine). Učestalost uzorkovanja je bila 3 puta godišnje u proljetnoj, ljetnoj i zimskoj sezoni.

Slika1. Lokacija istraživanih postaja u području srednjeg Jadrana

Morska voda iz vodenog stupca na postajama je uzorkovana Nansenovim crpcima na standardnim oceanografskim dubinama. U uzorcima morske vode je određen sadržaj oto-

pljenoga kisika i koncentracije anorganskih hranjivih soli (nitrati, nitriti, amonijeve soli, ortofosfati i ortosilikati) i organskih oblika dušika i fosfora.

Sadržaj otopljenoga kisika je određen klasičnom titracijom s tiosulfatom prema Winkler-u (Strickland i Parsons, 1968), a iz ustanovljenog i teoretskog sadržaja kisika izračunato je zasićenje kisika u uzorku. Koncentracije hranjivih soli su određene kolorimetrijski na AutoAnalyzer-u Seal Analytical modificiranim metodama prema Grasshoff (1976).

Koncentracija klorofila a (chl *a*) je određena fluorimetrijski iz ekstrakta u 90% acetonu (Strickland i Parsons, 1972), na fluorometru Turner TD 700.

Uzorci vode za određivanje mikrozoplanktona su prikupljeni 5 L Niskinovim crpcima, a organizmi su sačuvani u 2.5% formaldehidu. Priprema uzoraka za mikroskopiranje je prema Bojanić i sur. (2005), a brojanje i identifikacija vrsta su obavljeni na invertnom Olympus CK40 mikroskopu.

Broj heterotrofnih i fekalnih bakterija je određen metodom protočne citometrije (Beckman Coulter EPICS XL-MCL citometar) i membranskom filtracijom.

Uzorci sedimenta su uzeti gravitacijskim korerom i grabilom. U sedimentu je neposredno nakon uzorkovanja određen redoks-potencijal dok su uzorci za određivanje granulometrijskog sastava i udjela organskog ugljika zamrznuti i naknadno određeni u Laboratoriju za kemijsku oceanografiju i sedimentologiju Instituta za oceanografiju i sedimentologiju u Splitu. Granulometrijski sastav sedimenta određen je kombiniranom metodom prosijavanja i areometriranja po Casagrande-u. Iz udjela frakcija šljunka, pijeska silta i gline određen je tip sedimenta prema Folk (1954).

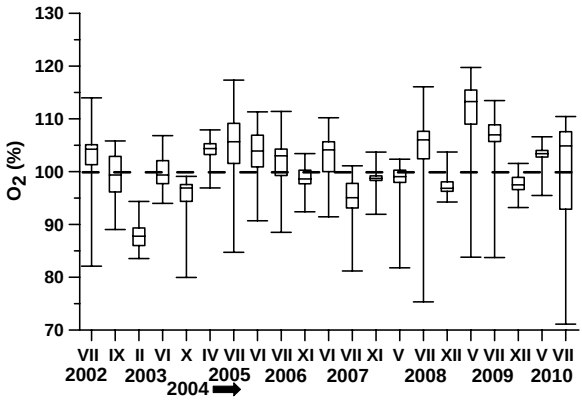
Redoks-potencijal sedimenta (E_H) određen je vertikalnim prodiranjem platinske elektrode u uzorak sedimenta uz snimanja potencijala koji se uspostavlja između platinske i referentne elektrode (Ag/AgCl, 3M KCl). Za baždarenje sustava upotrijebljene su zasićene otopine kinhidrona u puferima pH 4 i pH 7.

Organski ugljik određen je na CHNS-O analizatoru (EA 1110, CE instruments), a uzorci su prije obrade tretirani HCl-om zbog uklanjanja karbonata (Ujiié i sur., 2001).

3. REZULTATI I RASPRAVA

Sadržaj otopljenog kisika osim o fizikalnim parametrima, ovisi o biokemijskim procesima stvaranja i razgradnje organske tvari kojima se sadržaj kisika povećava (fotosinteza) ili smanjuje (respiracija) i tako indirektno utječe na cjelokupan život u moru. Topljivost se kisika može izraziti kao postotak zasićenja (O_2%), koji uključuje ovisnosti o tlaku, temperaturi i salinitetu s time da ravnotežnom stanju odgovara zasićenje od 100% (Grasshoff, 1976). Kako se u moru odvijaju različiti procesi koji narušavaju ravnotežno stanje kisika, uobičajene su pojave prezasićenja (>100%) ili podzasićenja (<100%).

Rezultati analize zasićenosti kisika u vodenom stupcu svih postaja istraživanog akvatorija u razdoblju od 2002. do 2010. godine su na slici 2 kao box-whisker prikazi gdje je isprekidanom vodoravnom linijom označeno ravnotežno zasićenje kisika, a strelicom početak rada ispusta otpadnih voda (listopad 2004. godine).



Slika 2. Box-whisker prikazi zasićenja kisikom (O_2%) u vodenom stupcu čitavog istraživanog područja u razdoblju od 2002. do 2010. godine (isprekidana vodoravna crta - ravnotežno zasićenje; strelica - početak rada ispusta).

Apsolutni raspon zasićenja kisika je za cjelokupno razdoblje bio od 71 do 120%. Medijani su u proljetnim i ljetnim mjesecima bili prosječno 4% veći od ravnotežnog zasićenja dok su u hladnijim razdobljima bili u prosjeku 2,5% niži. Prezasićenje u toplijem i smanjena zasićenost u hladnijem razdoblju su dio prirodnog godišnjeg ciklusa kisika kao rezultat intenzivnije fotosintetske proizvodnje u proljeće i ljeto, odnosno nižih temperatura i kraćeg trajanja dnevne svjetlosti zimi.

Veći apsolutni rasponi zasićenja, kao i raspršenje podataka na box-whisker prikazima u toplijem razdoblju u odnosu na hladnije (sa manjim rasponima i raspršenjem) proizlaze iz razlika u vertikalnoj raspodjeli zasićenja po dubini vodenog stupca.

U hladnom je razdoblju vertikalna raspodjela zasićenja po postajama ujednačenih vrijednosti i nižih zasićenja, a ta je homogenost u vodenom stupcu rezultat vjetrom iniciranog miješanja, (ali i smanjenog intenziteta fotosinteze i respiracije), koje se na području srednjeg Jadrana uspostavlja obično u tom razdoblju godine. U toplijem su razdoblju godine povišena zasićenja kisikom u površinskom sloju (prevladavajuća fotosinteza) s uočljivim negativnim vertikalnim gradijentima u pridnenom sloju svih postaja. Stratificiranost u ovom razdoblju je uobičajena, s time da se niže vrijednosti zasićenja javljaju u pridnenom sloju zbog veće dubine i otežane nadoknade potrošenog kisika.

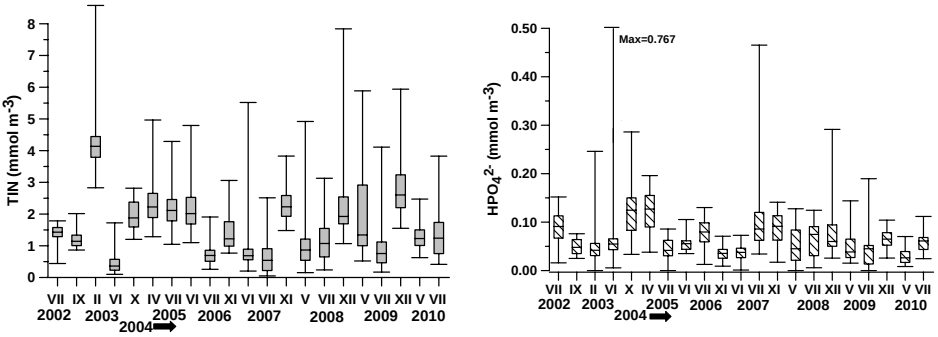
Značajne razlike u zasićenju iz razdoblja prije i poslije aktivacije ispusta nisu uočljive osim najnižih vrijednosti u pridnenom sloju postaja 4 i 6 u srpnju 2010. godine (71,1 i 74,7%) slika 1. i 2., koji su ujedno i najniže ustanovljene vrijednosti za cjelokupno razdoblje istraživanja akvatorija Stobreča (2002-2010).

Ova su zasićenja u usporedbi sa vrijednostima za pridneni sloj nekih postaja srednjeg Jadrana istraženih u istom razdoblju, niža u prosjeku 15-20%, što je posljedica veće koncentracije organske tvari (za čiju se razgradnju kisik troši), i u skladu sa povišenom biomasom fitoplanktona na istraživanom području (Slika 4). Bitno je naglasiti, međutim, da ove vrijednosti zasićenja ne predstavljaju kritičnu vrijednost za život bentoskih organizama.

Hranjive soli dušika (nitrati NO_3^-, nitriti NO_2^- i amonijeve soli NH_4^+), fosfora (ortofos-

fati HPO_4^{2-}) i silicija (ortosilikati SiO_4^{4-}) imaju ključnu ulogu u procesu proizvodnje organske tvari u moru pri čemu se u stanicama fitoplanktonskih organizama te bentoskih mikro i makroalgi fotosintezom pretvaraju u složene organske molekule. Otopljeni silicij ne sudjeluje izravno u asimilaciji organske tvari, već se ugrađuje u ljušturice pojedinih planktonskih skupina.

U ovom su radu anorganske soli dušika prikazane kao ukupni anorganski dušik (TIN) koji predstavlja zbroj koncentracija nitrata, nitrita i amonijevih soli.



Slika 3. Box-whisker prikazi koncentracije ukupnog anorganskog dušika (TIN) i ortofosfata (HPO_4^{2-}) u vodenom stupcu čitavog istraživanog područja u razdoblju od 2002. do 2010. godine (strelica-početak rada ispusta).

Raspon koncentracija TIN-a na cijelom području (slika 3) je od 0,05 do 8,58 mmol m^{-3}) s time da je najviša vrijednost ustanovljena u razdoblju prije aktivacije ispusta (veljača 2003. godine). U odnosu na raspone koncentracija TIN-a za šire priobalno područje Jadrana (0,1 do 47,5 mmol m^{-3}; „Izvješće Projekt Pag-Konavle 2000-2010“), pripadaju skupini umjerenih vrijednosti. Općenito je vidljiv i trend povišenih vrijednosti i većih raspona u jesensko-zimskom u odnosu na proljetno-ljetni dio godine. To je u skladu sa sezonskom raspodjelom TIN-a na području srednjeg Jadrana prema kojoj koncentracije u zimskom razdoblju (zbog dotoka slatkom vodom) rastu do godišnjeg maksimuma dok se u toplijem dijelu godine smanjuju.

Veći rasponi zasićenja, kao i veće raspršenje podataka unutar box-whisker prikaza (visina pravokutnika) su posljedica vertikalne raspodjele koncentracija TIN-a, odnosno povišenih koncentracija u hladnijem razdoblju godine u površinskom i/ili srednjem dijelu vodenog stupca (postaja 1, 8, 4 i 6) zbog slatkovodnog donosa rijeka Cetine i Žrnovnice, ali i izmiješanosti gornjeg dijela vodenog stupca. U toplom su razdoblju nešto više vrijednosti zabilježene u pridnenim slojevima dubljih postaja (4, 6 i 10), a porijeklo im je iz procesa remineralizacije i bentoskog protoka dušikovih soli.

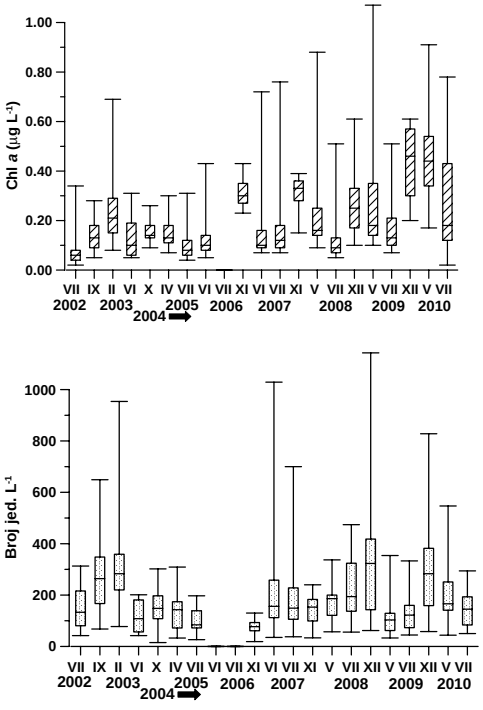
Raspon koncentracija ortofosfata (HPO_4^{2-}) je za čitavo područje bio od 0 do 0,767 mmol m^{-3} s time da je kod ove hranjive soli maksimalna vrijednost zabilježena u razdoblju prije aktivacije ispusta (lipanj 2003. godine). Ostale povišene koncentracije su zabilježene povremeno i samo u pojedinim slojevima vodenog stupca. Usporede li se medijani koncentracija sa vrijednostima dobivenim za priobalno područje Jadrana (0-0,51 mmol m^{-3}; „Izvješća Pag-Konavle 2000-2010“) ove koncentracije pripadaju grupi niskih do umjerenih vrijednosti.

I kod ove su hranjive soli osnovni statistički elementi sa slike 5. (rasponi u pojedinim razdobljima te raspršenje podataka) rezultat vertikalne raspodjele koncentracija HPO_4^{2-} po dubini vodenog stupca. Povišene su koncentracije zabilježene u površinskom sloju postaje koja je u blizine splitske gradske luke, (i vjerojatno je antropogenog porijekla), i u pridnenom sloju dubljih postaja kao posljedica remineralizacije iz sedimenta.

Gustoća heterotrofnih bakterija u vodenom stupcu istraživanog područja je uglavnom bila $<10^6$ stanica ml^{-1} što pripada izrazito niskim vrijednostima za priobalna područja (oligotrofno stanje) (Cotner i Biddanda, 2002)., i niže je u usporedbi s vrijednostima dobivenim za razdoblje prije aktivacije ispusta.

Biomasa fitoplanktona izražena kao koncentracija klorofila *a* (chl *a*) je bila u rasponu od 0.07 do 1.07 [1] sa uočljivim trendom povećanja raspona u odnosu na razdoblje prije aktivacije ispusta (Slika 4). Najveća je biomasa zabilježena u proljetnom razdoblju 2009. i 2010. godine i to u pridnenom sloju postaja 4, 5 i 6 sa vrijednostima koje mogu indicirati na porast trofičkog stupnja područja, ali su još ispod granične vrijednost za viši stupanj trofije koja je 1μg L^{-1}. U skladu s tim su i najniže zabilježene koncentracije kisika u pridnenom sloju u 2010. godini (Slika 2).

Razlike u rasponima i vrijednostima chl *a* , slika su posljedica sezonskog razvoja fitoplanktona u umjereno toplim područjima kao što je Jadran; sa proljetnim i jesensko zimskim maksimumom i minimumom tijekom ljeta. Proljetni maksimum rezultat je dužeg dana i veće količine svjetlosti, ali i dostatne količine hranjivih soli u vodenom stupcu (Slika 2, 3). Tijekom ljeta hranjive su soli u površinskom sloju potrošene, a stratifikacija onemogućava miješanje i njihov donos iz pridnenog sloja pa je posljedica niska biomasa u površinskom i viša u pridnenom sloju.



Slika 4. Box-whisker prikazi koncentracije klorofila a (chl *a*) i brojnosti cilijata u vodenom stupcu čitavog istraživanog područja u razdoblju od 2002. do 2010. godine (strelica-početak rada ispusta).

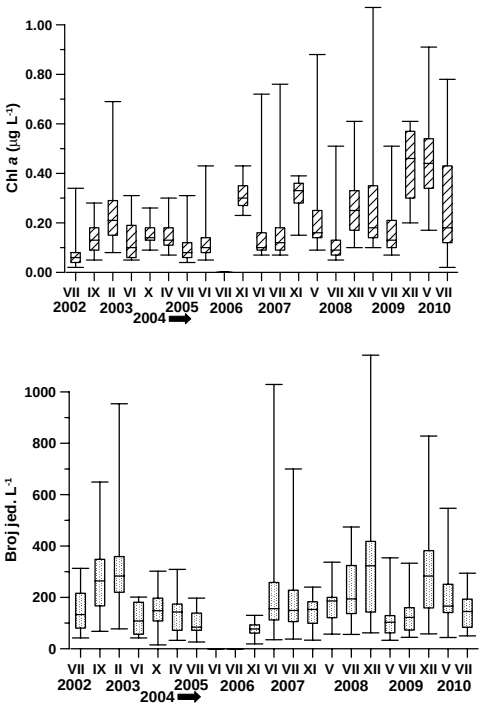
U skladu s povišenim koncentracijama chl *a* je i sastav mikrozooplanktonske zajednice cilijata koji su najosjetljiviji na promjene u biomasi fitoplanktona u vodenom stupcu. Apsolutni raspon brojnosti ukupnih cilijata u vodenom stupcu cijelog područja je od 15 do 1143 jed. L^{-1}(Slika 4), a uočljivi su viši rasponi i raspršenje vrijednosti u odnosu na razdoblje prije aktivacije ispusta. Povišene vrijednosti brojnosti mikrozooplanktona su također dio sezonskog ciklusa i ne upućuju na povišeni trofički status područja, međutim obzirom na trend porasta biomase, daljnje praćenje ovog parametra je vrlo bitno.

Bitno veći utjecaj rada ispusta otpadnih voda je bio na parametre ispitivane u sedimentu; sadržaj organskog ugljika (C-ORG%) i redoks potencijal (E_H) u površinskom sloju sedimenta.

Organski ugljik prisutan u sedimentu je sastavni dio istaložene organske tvari, koja može biti autohtonog (nastala u moru u okolišu u kojem je nađena) ili alohtonog porijekla (donešena u more sa kopna). Dio organskog ugljika u sedimentu ostaje sačuvan jednostavnim zatrpavanjem, a dio se razgrađuje i otpušta u vodeni stupac. U procesu razgradnje organske tvari u sedimentu posreduju brojni primatelji elektrona (O_2, NO_3^-, Mn^{4+};Fe^{3+}, SO_4^{2-}) u oksido-redukcijskim reakcijama kojima je moguće izmjeriti redoks potencijal E_H (mV). Prema Colman i Holland (2000) vrijednosti redoks potencijala od +150 do +300 mV odgovaraju oksičnom stanju, od 0 do +150 mV suboksičnom stanju dok vrijednosti od 0 do -150mV upućuju na anoksične uvjete u sedimentu.

Raspon E_H na cijelom području je bio od -320 do +205 mV. U razdoblju prije aktivacije ispusta redoks potencijal je bio uglavnom pozitivan, sa kratkim razdobljem negativnih vrijednosti, što se može pripisati prirodnim oscilacijama ovog parametra (Matijević i sur., 2008). Nakon puštanja ispusta u rad, E_H je bio negativniji na čitavom području, naročito na postajama u blizini ispusta. Pozitivniji medijani i uži apsolutni rasponi tijekom 2009/2010 godine su posljedica nešto dubljih redoks prijelaza koji su ustanovljeni u sedimentu ispitivanih postaja.

Iz prikaza je udjela organskog ugljika



Slika 5. Box-whisker prikaz redoks potencijala E_H i sadržaja organskog ugljika (C-ORG) u površinskom sloju sedimenta (0-2 cm dubine) na svim istraživanim postajama u razdoblju od lipnja 2002. do srpnja 2010. godine (strelica-početak rada ispusta, isprekidana vodoravna linija-granica ispod koje su u sedimentu anoksični uvjeti).

(C-ORG) sa rasponom od 0,21 do 3,72% uočljiv porast udjela ugljika nakon aktivacije ispusta (od listopada 2004. do studenog 2007.) koji je vjerojatno posljedica povećanog donosa organske tvari i njihove akumulacije u sedimentu. Od 2008. godine se udjeli C-ORG smanjuju, ali su još uvijek u prosjeku 20% viši odnosu na razdoblje prije početka rada ispusta.

Razlike u rasponu i raspršenju vrijednosti na box-whisker prikazima (Slika 5) u različitim razdobljima istraživanja su vjerojatno posljedica različitosti u granulometrijskom sastavu sedimenta, dubini postaja te utjecaju pridnenog strujanja na proces resuspenzije sedimenta.

ZAKLJUČAK

Promjene stanja većine parametara iz vodenog stupca u razdoblju nakon aktivacije ispusta otpadnih voda (listopad 2004.) su bile u skladu sa sezonskim oscilacijama pojedinog parametra i/ili lokalizirane na postaje u blizini ispusta. Povišena biomasa i zastupljenost mikrozooplanktona je ustanovljena na određenim postajama, ali u vrijednostima koje još ne upućuju na promijenjeni trofički status područja. Kako su vrijednosti istraživanih parametara još u granicama koje područje svrstavaju u oligotrofno, bitan je nastavak praćenja stanja ovih parametara u vodenom stupcu. Promjene u sedimentu cijelog područja (povišeni sadržaj organskog ugljika i negativniji redoks potencijali) u razdoblju nakon aktivacije ispusta su izravna posljedica unosa otopljene anorganske i organske tvari.

LITERATURA

[1] Bojanić N., Šolić M., Krstulović N., Šestanović S., Marasović I. & Ninčević Ž., 2005. Temporal variability in abundance and biomass of ciliates and copepods in the eutrophicated part of Kaštela Bay (Middle Adriatic Sea). Helgolander Marine Research, 59: 107-120.

[2] Colman, A. S. & H. D. Holland. 2000. The global diagenetic flux of phosphorus from marine sediments to the oceans, redox sensitivity and the control of atmospheric oxygen levels. Marine Authigenesis: From Global to Microbial, SEPM Special Publ. 66, pp. 53-75.

[3] Cotner, J.B., Biddanda, B.A. 2002. Small players, Large role: microbial influence on biogeochemical processes in pelagic aquatic ecosystems, Ecosystems, 5:105-121.

[4] Folk, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. Journal of Geology, 62:344-356.

[5] Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology 27:3-26.

[6] Kušpilić G, Matijević S, Stojanoski L, Pezo I, Veža J (2008) Kemijski parametri: Zvonarić, T. (ed) Kontrola kakvoće obalnoga mora (Pag-Konavle), Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split, Hrvatska, 285:53-106.

[7] Matijević, S., Kušpilić G. & Kljaković- Gašpić, Z. (2007) The redox potential of sediment from the Middle Adriatic region, Acta Adriatica 48/2 191-204.

[8] Shepard, F. P. (1954): Nomenclature based in sand-silt-clay relations. Journal of Sedimentary Petrology 24:151-158.

[9] Grasshoff, K. 1976, Methods of seawater analysis. Verlag Chemie, Weinhein. 307 pp. 307 p.

[10] Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 167: 1-310.

[11] Ujiié, H., Hatakeyama, Y., Gu, X.X., Yamamoto, S., Ishiwatari, R., Maeda, L. (2001). Upward decrease of organic C/N rations in the Okinawa Trough cores: proxy for tracing the post-glacial retreat of the continental shore line. Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 165: 129-140

AUTORI

Dr. sc. S. Matijević [a]
doc. dr. sc. G. Kušpilić [b]
doc. dr. sc. Ž. Ninčević [c]
prof. dr. sc. N. Krstulović [d]
doc. dr. sc. N. Bojanić [e]
dr. sc. D. Bogner [f]

[a, b, c, d, e, f] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šetalište I. Meštrovića 63, 21000 Split, Hrvatska / Institute of Oceanography and Fisheries, Šet. I. Meštrovića 63, 21000 Split, Croatia

[a] dosen@izor.hr
[b] kuspe@izor.hr
[c] nincevic@izor.hr
[d] krstulovic@izor.hr
[e] bojanic@izor.hr
[f] bogner@izor.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.63.

SULFUR SPECIES IN ROGOZNICA LAKE - EXTREME ANOXIC SEAWATER SYSTEM ON THE ADRIATIC COAST

Elvira Bura-Nakić, Božo Žonja, Marija Marguš, Irena Ciglenečki

SUMMARY: By using different electrochemical methods it is possible to measure a variety of soluble and particulate sulfur compounds in natural waters. In this work we used hanging mercury drop electrode to measure different dissolved reduced sulfur species (RSS), including S(-II), S(0) and S_x(-II) species in anoxic seawater lake. In parallel, possibility of using UV/VIS spectrophotometry in determination of S(0), S_x(-II)) was tested. Concentration of total RSS in anoxic water column of Rogoznica Lake is relatively high, up to 2 x 10^{-3} M. Polysulfide concentrations are extremly high with detected numbers of 3.5 x 10^{-5} M implying that polysulfides are contributing the most to the total S(0) (up to the 1.7 x 10^{-4} M) measured by voltammetry. High concentrations of total S(0) in Rogoznica Lake are most probably consequence of bacterial oxidation of S(-II) proved by presence of phototrophic sulfur bacteria, *Chromatium sp*. Polarographic measurements with the use of dropping Hg electrode together with spectrophotometric measurements are found as useful techniques for determination of polysulphide species in Rogoznica Lake.

KEYWORDS: sulphur species**,** electrochemistry, spectrophotometry, anoxic conditions, Rogoznica Lake

SUMPORNE VRSTE U ROGOZNIČKOM JEZERU – EKSTREMNOM ANOKSIČNOM MORSKOM SISTEMU JADRANSKE OBALE

SAŽETAK: Uporaba različitih elektroanalitičkih metoda omogućuje određivanje niza otopljenih i partikulatnih reduciranih sumpornih specija (RSS). U ovom radu korištenjem viseće živine kap elektrode (eng. HMDE) vršeno je određivanje različitih otopljenih RSS (S(-II), S(0) i S_x(-II)). Paralelno je ispitivana i mogućnost korištenja UV/VIS spektrofotometrijskog određivanja različitih RSS posebno S(0) i S_x(-II). Koncentracija ukupnih RSS u anoksičnom dijelu vodenog stupca Rogozničkog jezera je izrazito visoka, do 2 x 10^{-3} M. Koncentracija polisulfida je ekstremno visoka s maksimalno određenih 3.5 x 10^{-5} M, što upućuje na zaključak kako polisulfidni S(0) čini glavninu elementnog sumpora određenog korištenjem voltametrije na Hg elektrodi (do 1.7 x 10^{-4} M). Visoka koncentracija ukupnog S(0) na Rogozničkom jezeru najvjerojatnije je posljedica bakterijske oksidacije S(-II), što je potvrđeno detekcijom fototrofnih ljubičastih bakterija vrste *Chromatium sp*. Polarografska mjerenja na kapajućoj Hg elektrodi u kombinaciji s UV/VIS spektrofoto-

metrijskim mjerenjima su nađene kao korisne tehnike za određivanje polisulfidnih vrsta u anoksičnim uzorcima Rogozničkog jezera.

KLJUČNE RIJEČI: sumporne specije, elektrokemija, spektrofotometrija, anoksija, Rogozničko jezero

1. INTRODUCTION

In the oxygen-rich water column of seawater sulfate is the most abundant soluble electron acceptor while in absence of oxygen, sulfate reduction become an important energy source for microorganisms. Major product of sulfate reduction in seawater is S(-II). During reoxidative part, formation of various intermediate sulfur compounds is occurring. Reduced sulfur species (RSS) comprise a group of compounds that contain sulfur in nominally -II and 0 oxidation states. Some of the most important members of this group in natural waters include sulfide (S(-II)), organic thiols, inorganic and organic di- and polysulfides or polysulfanes (S_x(-II), CH_3S_xSH, $CH_3S_xCH_3$) and dissolved molecular S(0).
Dissolved molecular S(0), S_x(-II) and R-S_x-R are important species in reducing environment due to many reasons. Inorganic polysulfides form stable compounds with highly polarizable metals, Cu(I), Ag(I) , Au(I) and Hg(II) (Bura-Nakić et al., 2009 and references therein). Sulfide and inorganic polysulfides are aggressive nucleophiles that facilitate important organic reactions, like destruction of anthropogenic halocarbons (Bura-Nakić et al., 2009 and references therein). They are involved in sulfidation and cross-linking reactions that produce biorefractory organic carbon in aquatic and sedimentary environments (Bura-Nakić et al., 2009).
Using different electrochemical methods it is possible to measure a variety of soluble and particulate sulfur compounds (Luther et al., 1985; Ciglenečki and Ćosović, 1997; Bura-Nakić et al. 2007). In this work we used Hanging mercury drop electrode (HMDE) to measure different dissolved species, including S(-II), S(0) and S_x(-II). In parallel, possibility of using UV/VIS spectrophotometry in determination of S(0) and S_x(-II)) was tested in samples of Rogoznica Lake collected in September 2010.

2. EXPERIMENTAL PART

2.1. Study site

Lake Rogoznica is a seawater lake located on the Gradina Peninsula (43°32´N, 15°58´E), close to village Rogoznica on the middle Dalmatian coast. The lake is approximately 100 m far from the open waters of the Adriatic Sea. Lake Rogoznica is a shallow (15 m deep), naturally intensely eutrophicated and seasonaly anoxic karstic seawater lake which is thermohaline stratified from spring to autumn (Ciglenečki et al., 1996; 1998; 2005). During the stratification surface water is well oxygenated (oxygen saturation up to 300%), while hypoxia/anoxia occurs in the bottom layer (Ciglenečki et al., 1996; 2005). Anoxic deep water (below 10 m depth) is characterized by high concentrations of reduced sulfur compounds (RSS up to 1mM, mainly in the form of sulfide) (Bura-Nakić, et al., 2009), nutrients (NH_4^+, up to 150 μM; PO_4^{3-}, up to 22 μM; SiO_4^{4-}, up to 400 μM) and dissolved organic carbon (DOC up to 2-3 mg l^{-1}) (Ciglenečki et al., 2005), as a consequence of pronounced remineralization of allochthonous organic matter produced in the surface water.

Chemocline of Rogoznica lake is usually characterized with a dense population of purple phototrophic sulfur bacteria *Chromatium sp.*, (up to 4.3 x 108 cells mL^{-1}), which corresponds to 51% of total sulphur bacteria detected in the lake (Ciglenečki et al., 1998).

Here we define three geochemically-distinct water layers in the lake: the epilimnion as the upper, oxic water layer; the chemocline as the layer where sharp concentration gradient of S(-II) is occurring, in lake Rogoznica this layer is c.a. 50 cm wide; the hypolimnion, as the deepest water layer, which is anoxic and S(-II) rich.

2.2. Sampling and analysis

Water samples were collected with 5 L Niskin bottles. Immediately after retrieval, water samples for electrochemical S(-II) and S(0) as well as for S_x(-II) spectrophotometric and electrochemical determination were expelled from the Niskin bottles under N_2 pressure through a Tygon tube into 200 mL glass Winkler bottles. The bottles were first flushed with N_2 and then filled to overflowing with sample.

Samples for spectrophotometric analysis of total S(0) were preserved by addition of 50 mL sample to 50 mL falcon tubes pre-filled with 1 mL of 200 g/L zinc acetate solution. After solvent extraction with chloroform the chloroform phase is analyzed by UV/VIS spectrophotometry at 270 nm (Boulegue, J., 1978).

Direct polarographic and spectrophotometric determination of S_x(-II) were performed in untreated samples (Luther et al., 1985; Vorlicek et al., 2004).

Electrochemical determinations of S(-II) and S(0) were made by cathodic stripping linear sweep voltammetry (CSLSV) in unfiltered samples (Ciglenečki et al., 1996; Ciglenečki and Ćosović, 1997; Bura-Nakić et al., 2009). The electrolyte was purged with N_2 for 5 min to remove O_2. Analyte was allowed to accumulate on a new Hg drop for 120 s while the solution was continuously stirred but not purged. The potential during accumulation was held at -0.2 V. At the end of this period, the potential was scanned to -1.0 V at a rate of 100 mV/s, and the height of the reduction peak between -0.6 and -0.7 V was recorded. Next, the solution was acidified with 50 μL of concentrated HCl to pH ~2 and purged for 5 min. After restoring the pH to ~9 with NaOH, the accumulation and scan steps were repeated. In this paper, we will describe the result of the first measurement, prior to acidification, as total reduced sulfur species and to the result of the second measurement as total S(0).

Temperature, pH, redox potential, salinity and dissolved oxygen concentration were recorded by CTD probe (Hach Lange HQ40D).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Hydrographic conditions of the Rogoznica Lake water column

Profiles of salinity and temperature are similar to the ones reported previously in the lake for the same season (Ciglenečki et al., 2005; Bura-Nakić et al., 2009) (Figs. 1a,b). Decreases in pH and redox potential are also standard features for stratified water bodies due to sulfate reduction coupled to degradation of organic matter (Figs. 1c,d).

The salinity profiles show an increase during both samplings from 34.5 -35.5 in the epilimnion to 38 in the bottom water layer (Figs. 1a,b). In the apilimnion T=24-24.6 ^{0}C

were recorded. In the chemocline, the T reached maximum of 26.6^{0}C and lowest T were detected in the hypolimnion (Figs. 1a,b). Trends of pH with depth were similar during two samplings with the lowest values in the hypolimnion (Figs. 1c,d). Redox potential decreases from positive to the negative values sharply at the chemocline area (Figs. 1c,d). Concentrations of dissolved oxygen decrease slowly with depth and anoxic conditions were recorded at depths higher than 10 m (Figs. 1c,d).

3.2. Reduced sulfur speciation

Concentrations of S(-II) higher than 1 x 10^{-6} M were detected only at the depth horizons where concentration of dissolved oxygen dropped below 0.1 mg/L (Figs. 1a,b; 2a,b). These sulfide and dissolved oxygen profiles are similar to the profiles reported by Bura-Nakić et al. (2009). Highest S(-II) concentrations were recorded in the hypolimnion with the maximum values of 3 x 10^{-3} M and 2 x 10^{-3} M at the 13 m depth, respectively (Figure 2). Please note that sulfide make up to 90% of total RSS.

Various sulfide oxidation intermediates can be formed in the redox transition zone. The most abundant product of S(-II) oxidation is S(0), and is attributed to the activity of purple phototrophic sulfur bacteria from genus *Chromatium sp.*(Ciglenečki et al., 1998).

In the redox transition zone, besides biologically driven production, S(0) may be produced by chemical oxidation of S(-II) with the O_2, Mn^{4+} and/or Fe^{3+} species (Zerkle et al., 2010).

In Rogoznica Lake a sharp increase of total S(0) concentraton was detected at the chemocline and is increasing in the hypolimnion where reaches maximum valuse of 4.0 x 10^{-5} M and 1.7 x 10^{-4} M, recpectively. In the epilimnion the concentration of total S(0) was lower and is ranging from 4.5 x 10^{-9} M to the 6.5 x 10^{-8} M during the both samplings (Figs. 2a,b). During first sampling at the chemocline (11 m) total S(0) determined by spectrophotometry was for one order or magniute higher than total S(0) determined by voltammetric measurements (Fig. 2a). At this depth most probably all S(0) is stored inside cells of sulfide oxidizing phototrophic bacteria, and is extracted with the chloroform causing observed difference between used methods.

At near neutral and basic pH values, S(-II) reacts with rhombic (Kamyshny et al., 2007), colloidal (Boulegue, 1976) and dissolved (Kamyshny et al., 2008) S(0), forming water soluble inorganic S_x(-II). Thermodinamic calculations showed that 93-99.9 % of total S(0) in Rogoznica Lake is in the form of soluble inorganic S_x(-II) while major S_x(-II) species are: HS_2^-, S_4^{2-} i S_5^{2-} (Bura-Nakić et al., 2009).

3.3 Polarographic and spectrophotometric polysulphide determination

In the hypolimnion of the Rogoznica Lake high polysulphide concentrations (up to the 3.5 x 10^{-5} M) were determined by the use of polarography (Fig. 2c and Table 1). In parallel samples the spectrophotometric measurements were employed. Obtained spectrophotograms are characterized with the absorption shoulder near the 350 nm wavelength which is characteristic for inorganic S_x(-II) species (Fig. 2d) (Vorlicek et al., 2004). Obtained results are confirming our thermodynamic calculations (Bura-Nakić et al., 2009) and showing that polarography and spectrophotometry are useful techniques for inorganic S_x(-II) determination in natural anoxic samples.

CONCLUSION

Rogoznica Lake is extreme anoxic seawater system characterized with the high S(-II) concentrations in the hypolimnion (~2 x 10^{-3} M) due to the pronounced remineralization process. Hypolimnion of Rogoznica lake is characterized with the high concentrations of S(0) (up to the 1.7 x 10^{-4} M) mainly in the form of inorganic soluble S_x(-II) species. Since chemocline of Rogoznica lake is characterized with the presence of purple phototrophic sulfur bacteria, high concentrations of total S(0) in Rogoznica Lake most probably are consequence of biologically driven S(-II) oxidation. High concentrations of S_x(-II) in Rogoznica Lake hypolimnion (up to the 3.5 x 10^{-5} M) are confirmed with the use of polarographic and spectrophotometric measurements.

REFERENCES

[1] Boulegue, J., (1976): *Equilibres dans le systeme H_2S-S_8 colloïde-H_2O*. CR Acad. Sci. 283(D), 591-594.

[2] Boulegue, J., (1978): *Solubility of elemental sulfur in water at 278 K*. Phosphorus Sulfur 5, 127–128.

[3] Bura-Nakić, E., Helz, G.R., Ciglenečki, I., and Ćosović, B., (2009): *Reduced sulfur species in a stratified seawater lake (Rogoznica Lake, Croatia); seasonal variations and argument for organic carriers of reactive sulfur*. Geochim. et Cosmochim. Acta, 73(13), 3738-3751.

[4] Ciglenečki I., Kodba Z., and Ćosović, B., (1996): *Sulfur species in Rogoznica Lake.* Mar. Chem. 53, 101–111.

[5] Ciglenečki I. and Ćosović B., (1997): *Electrochemical determination of thiosulfate in seawater in the presence of elemental sulfur and sulfide.* Electroanalysis 9, 1-7.

[6] Ciglenečki, I., Kodba, Z., Viličić, D. and Ćosović. B., (1998): *Seasonal variation of anoxic conditions in the Rogoznica* Lake. Croat. Chem. Acta 71, 217-232.

[7] Ciglenečki I., Carić, M., Kršinić F., Viličić, D. and Ćosović, B., (2005): *The extinction by sulfide turnover and recovery of an naturally eutrophic, meromictic seawater lake.* J. Mar. Syst. 56,29–44.

[8] Kamyshny, A., Gun, J., Rizkov, D., Voitsekovski, T. and Lev. O., (2007): *Equilibrium distribution of polysulfide ions in aqueous solutions at different temperatures by rapid single phase derivatization.* Environ. Sci. Technol. 41, 6633 - 6644.

[9] Kamyshny, A., Zilberbrand, M., Ekeltchik, I., Voitsekovski, T., Gun, J. and Lev, O., (2008): *Speciation of polysulfides and zero-valent sulfur in sulfide-rich water wells in southern and central Israel*. Aquat. Geochem. 14, 171-192.

[10] Luther, G.W., Giblin, A.E. and Varsolona, R., (1985): *Polarographic analysis of sulfur species in marine porewaters.*Limnol. Oceanogr., 30(4), 727-736.

[11] Vorlice, T.P., Kahn, M.D., Kasuya, Y. and Helz,G.R., (2004): *Capture of molybdenum in pyrite-forming sediments:role of ligand-induced reduction by polysulphides.* Geochim. et Cosmochim. Acta, 68(3), 547-556.

[12] Zerkle, A. L., Kamyshny, A., Kump, L. R., Farquhar, J., Oduro, H. and. Arthur, M. A,. (2010): *Sulfur cycling in a stratified euxinic lake with moderately high sulfate: Constraints from quadruple S isotopes.* Geochim. Cosmochim. Acta 74, 4953-4970.

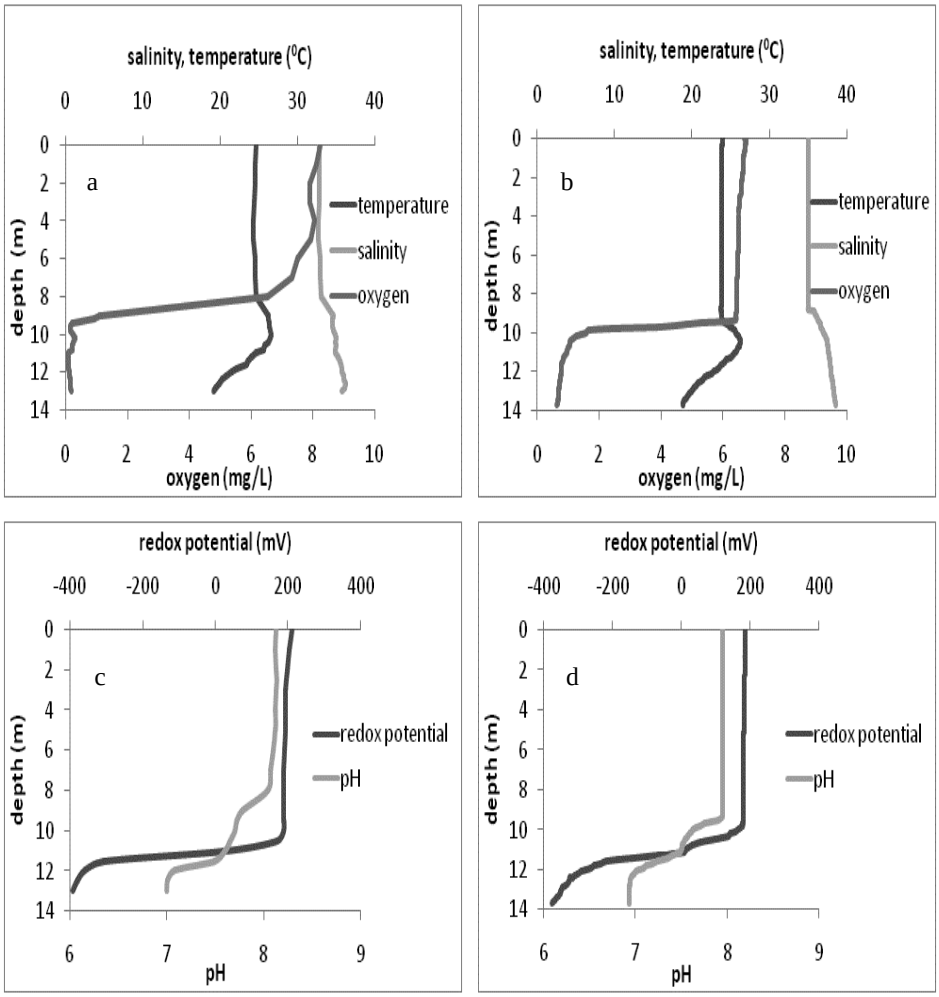


Fig. 1. Salinity, temperature, oxygen, redox potential and pH vertical profiles taken at Rogoznica Lake on September 11th (a and c) and September 21th in 2010 (b and d).

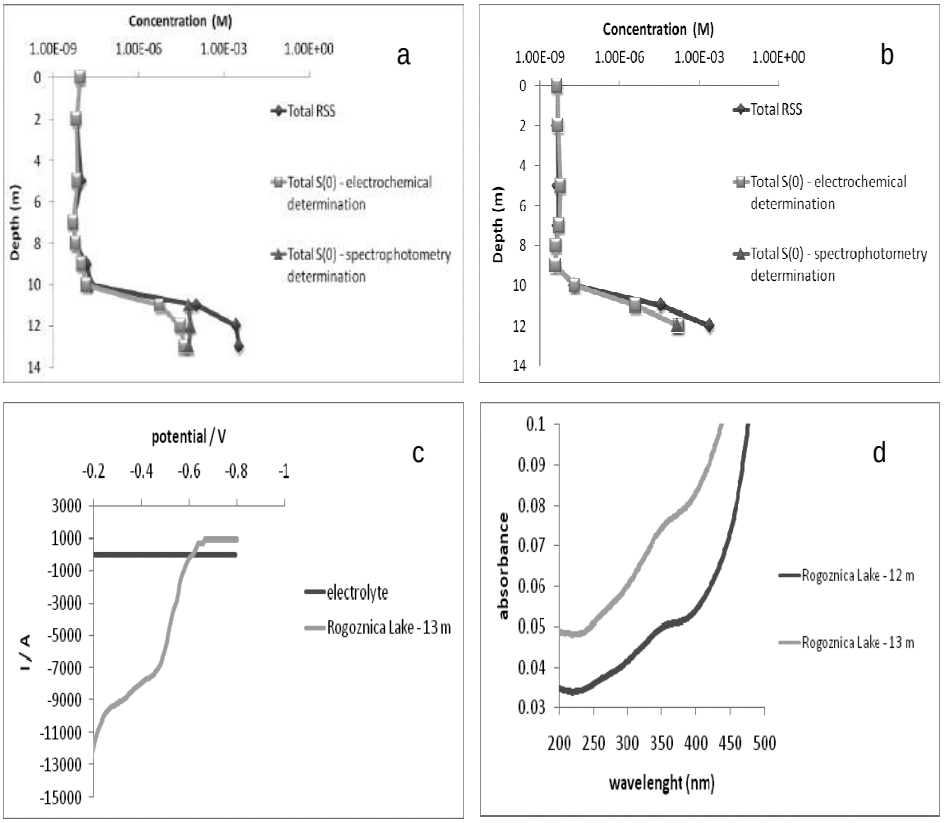


Fig. 2. Vertical profiles of total RSS and total S(0) determined by electrochemical and spectrophotometric measurements: (a) September 11th 2010; (b) September 21th 2010. (c) Polarographic and (d) spectrophotometric determination of polysulphides in anoxic Rogoznica Lake sample (September 11th 2010).

Depth (m)	Voltammetry / Total RSS (M)	Voltammetry / Total S(0) (M)	Polarography / in eqv. of S_4(-II) (M)	Spectrophotometric detection of S_x(-II)
Sep 11th 2010.				
11	1.1x 10^{-4} M	5.5x10^{-6} M	9.0x10^{-6} M	+
12	2.7x10^{-3} M	3.0x10^{-5} M	2.6x10^{-5} M	+
13	3.5x10^{-3} M	4.0x10^{-5} M	3.5x10^{-5} M	+
Sep21th 2010.				
11	3.7x 10^{-5} M	4.0x10^{-6} M	7.0x10^{-6} M	
12	2.5x10^{-3} M	1.7x10^{-4} M	3.0x10^{-5} M	+

Table 1. Concentrations of total RSS, S(0) and Sx(-II) determined by the voltammetric, polarographic and spectrophotometric measurements in anoxic Rogoznica lake samples on September 11th and September 21th 2010.

AUTORI

Elvira Bura-Nakić, D.Sc. [a]
Božo Žonja, B.Sc. [a]
Marija Marguš, B.Sc.[a]
Irena Ciglenečki, D.Sc.[a]

[a] Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, Zagreb, 10 000, Zagreb, *ebnakic@irb.hr*

R 1.64

RASPODJELA TRAGOVA METALA U VODI I DAGNJAMA ESTUARIJA KRKE I CETINE TE KAŠTELANSKOG ZALJEVA

Helena Crnojević, Renata Ćuk, Marija Marijanović Rajčić, Krešimir Maldini, Ivan Grabar, Željko Kwokal, Marina Mlakar

SAŽETAK: Ovo istraživanje je provedeno kako bi se utvrdile koncentracije tragova metala (Zn, Cd, Pb, Cu i Hg) u vodi i dagnjama (Mytilus galloprovincialis) uzorkovanih u listopadu krajem 2010. u estuariju rijeke Cetine, u estuariju rijeke Krke i Kaštelanskom zaljevu. Analize su provedene u dva različita laboratorija pomoću dvije različite metode kako bi se dokazala usporedivost rezultata bez obzira na način pripreme i detekciju metala u kompleksnom organskom materijalu.

Rezultati mjerenja pokazuju da su koncentracije otopljenih metala (Zn, Cd, Pb, Cu i Hg) u vodi na svim ispitivanim lokacijama manje od maksimalno dozvoljenih koncentracija propisanih „Uredbom o standardu kakvoće voda“, dok su koncentracije ekotoksičnih metala Cd, Pb i Hg u mekom tkivu dagnji na svim lokacijama manje od najvećih dopuštenih količina kontaminanata u hrani propisanih Pravilnikom o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani. Rezultati također pokazuju relacije između koncentracija navedenih metala u mekom tkivu dagnji te koncentracija istih metala u vodi u kojoj žive što dokazuje da su dagnje vrlo dobri pokazatelji dugoročne kvalitete vodenih ekosustava

KLJUČNE RIJEČI: tragovi metala, dagnje, estuarij Krke, estuarij Cetine, Kaštelanski zaljev

DISTRIBUTION OF TRACE METALS BETWEEN WATER AND MUSSELS FROM THE KRKA & CETINA RIVER ESTUARY AND KAŠTELA BAY

SUMMARY: This study was conducted in order to quantify the concentrations of trace metals (Zn, Cd, Pb, Cu and Hg) in the sea water as well as in the mussels (Mytilus galloprovincialis) sampled in October 2010 in the Cetina Estuary, the Krka Estuary and Kaštela Bay. The analysis were conducted parallely in two different laboratories using two different methods in order to verify comparison of the results regardless the preparation methods and metal detection in the complexed organic material.

The results obtained indicate that the concentrations of dissolved metals (Zn, Cd, Pb,

Cu and Hg) in the water at all investigated sampling stations are lower than maximally allowed concentrations regulated by the bylaw on water quality standard - „Uredba o standardu kakvoće voda“. The concentrations of ecotoxic metals Cd, Pb and Hg in the soft tissue of mussels from all investigated sampling stations are lower than regulated by the bylaw on maximum allowed contaminants in the food - „Pravilnik o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani“.

The results obtained also point out relations between the concentrations of investigated metals in the water and in the soft tissues of mussels, indicating that the mussels are suitable bioindicator of water quality.

KEY WORDS: trace metals, mussels, the Krka Estuary, the Cetina Estuary, Kaštela Bay

1. UVOD

Kemijski i biološki monitoring priobalnog područja temelj su za procjenu kakvoće vode s obzirom na razna zagađivala koja dospjevaju u more. Velika pažnja posvećena je praćenju utjecaja tragova metala s obzirom na njihovu toksičnost i potencijalno akumuliranje u mnogim organizmima koji žive u moru (Blevins i Pancorbo, 1985; Gupta i Mathur, 1983). Metali kao što su Cd, Hg i Pb općenito se smatraju ekotoksičnim elementima te su opasni čak i u niskim koncentracijama zbog sposobnosti biokaumulacije u hranidbenom lancu što uvelike povećava njihovu toksičnost za krajnjeg konzumenta. Cu i Zn su sastavni mikroelementi u enzimima, no ukoliko su prisutni u visokim koncentracijama djeluju citotoksično i također bioakumulacijom ugrožavaju organizme u hranidbenom lancu, te naknadno ljudsko zdravlje. Izvori tragova metala u moru su najčešće onečišćene rijeke te industrijski ispusti koji se ulijevaju u more.

Zagađenje mora tragovima metala može se utvrditi analizom vode, analizom sedimenta i analizom morskih organizama (Förstner i Wittmann, 1983). S obzirom da morske životinje bioakumuliraju i biokoncentriraju tragove metala iz vode u kojoj žive, one mogu poslužiti kao pokazatelj zagađenja okolnog mora (Phillips, 1980). Školjkaši su idealan bioindikator zbog svog sesilnog načina života, načina hranjenja filtriranjem vode, relativno sporog detoksifikacijskog metabolizma i velike sposobnosti akumulacije raznih zagađivala (Viarengo i Canesi, 1991). Široko su rasprostranjeni, lako ih je prepoznati i sakupiti budući da im je stanište na kamenju priobalnog područja. Kao takvi pružaju bitne informacije o specifičnim uvjetima i procesima koji se događaju u mikrostaništu u kojem obitavaju. Uobičajeni monitoring se sastoji od analize uzorka mekog tkiva školjke i okolne vode uzorkovane na istoj lokaciji. Rezultati analiza vode odražavaju trenutno, dok rezultati analiza tkiva školjke integriraju prošle događaje sa sadašnjim uvjetima. Biološko kruženje i varijacije metala u prirodi proporcionalne su koncentraciji metala u mekom tkivu školjaka jer se metali ne zadržavaju trajno u tkivu kao npr. u ljušturi školjke (Ravera i drugi, 2003). Pri korištenju školjki kao bioindikatora zagađenja treba uzeti u obzir varijabilnost akumuliranja teških metala što uvelike ovisi o vrsti školjke, metabolizmu jedinke te fizikalno-kemijskim uvjetima (salinitetu, temperaturi, dubini, količini hranjivih tvari) (Bryan, 1973; Millington i Walker, 1983; Metcalfe-Smith i drugi, 1996).

Osnovni cilj ovog istraživanja bio je ustanoviti stupanj bioakumulacije tragova metala (Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, Co i Hg) u uzorcima dagnji (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck) uzorkovanih na različitim lokacijama, kako bi se ustanovila korelacija između koncentra-

cije metala u živim organizmima i vodi tj. njihovom staništu. Lokacije uzorkovanja odabrane su tako da se procjeni utjecaj metala donesenih rijekama i dospjelih iz napuštenih industrijskih ispusta. Odabrani su morski organizmi koji su sastavni dio ljudske prehrane, zbog čega je bilo bitno pokazati da ti jestivi organizmi nisu opterećeni visokim koncetracijama teških metala i da nema opasnosti od trovanja prilikom njihove konzumacije. Dodatno, koncentracije metala u mekom tkivu dagnji mjerene su različitim tehnikama kako bi se dokazalo da su dobivene vrijednosti usporedive bez obzira na način pripreme i detekcije metala u biološkom materijalu.

2. MATERIJALI I METODE

2.1 Područje uzorkovanja

Estuarij rijeke Krke smješten je 80 km sjeverno od središta istočne obale Jadranskog mora u blizini grada Šibenika. Proteže se riječnom dolinom krškog podrijetla od slapova Skradinskog buka do Šibenskog kanala. Estuarij rijeke Krke je stratificiran estuarij karakteriziran niskim plimnim pomakom (20–50 cm) i zatvorenim sustavom. Blago boćata površinska voda teče u smjeru mora dok se morska voda na dnu kreće u suprotnom smjeru i prodire čak do slapova Skradinskog buka. Grad Šibenik, smješten u donjem dijelu estuarija, najveći je zagađivač tog područja s pripadajućom metalo-prerađivačkom industrijom i komunalnim vodama koje se ispuštaju u estuarij (Martinčić i drugi, 1992).

Kaštelanski zaljev je smješten u središnjem dijelu istočne Jadranske obale u blizini grada Splita. Taj najveći zaljev u središnjoj Dalmaciji (14,8 km dužine i 6,6 km širine) bio je opterećen industrijskim aktivnostima koncentriranim uz obalno područje (proizvodnja klor-alkalnih masa, proizvodnja kemikalija i cementa te brodogradilište). Poznato je zagađenje Kaštelanskog zaljeva anorganskom živom koja se ispuštala direktno iz pogona za klor–alkalnu elektrolizu, bivše tvornice za proizvodnju PVC masa zatvorene 1990 godine (Kwokal i Branica, 2003).

Estuarij rijeke Cetine nalazi se u središnjem dijelu istočne Jadranske obale i sastavni je dio grada Omiša. Zbog hidroenergetskih akumulacija na gornjem i srednjem toku rijeke Cetine prirodni režim toka ove rijeke je značajno izmjenjen, a ušće je rekonstruirano i pretvoreno u luku te građevinsko zemljište. S obzirom da na području Omiša ne postoji značajnija industrijska aktivnost, moguće zagađenje se može pripisati direknom ispuštanju komunalnih voda iz domaćinstava i intenzivnom prometu koji se odvija uzduž obalnog područja i preko samog ušća (UNEP/MAP/PAP, 2000).

2.2. Uzorkovanje i priprema uzoraka

Dagnje *(M. galloprovincialis)* su uzorkovane iz priobalnih populacija jedan put u listopadu 2010. na četiri lokacije:

- u Kaštelanskom zaljevu u mjestu Kaštel Sućurac u blizini ispusta zatvorenog pogona za klor–alkalnu elektrolizu bivše tvornice PVC masa.
- na samom završetku estuarija rijeke Cetine u mjestu Omiš
- u estuariju rijeke Krke na dva mjesta: u uzgajalištu školjaka u blizini mjesta Zaton i na samom završetku ušća u mjestu Jadrija.

Na svakoj lokciji uzeto je 10–20 jedinki, otprilike iste dužine, kako bi se utjecaj veličine

i starosti jedinki sveo na minimum. Očišćen je vanjski dio ljušture te im je izmjerena duljina, a zatim su otvorene uz pomoć specijalnog skalpela rezanjem vanjskog mišića aduktora. Meki dijelovi dagnji su izvađeni, izvagani i homogenizirani pomoću miksera (model Krupp-2000) nožićem od inertnog materijala kako uzorci ne bi bili kontaminirani metalima. Izvagane su i prazne ljušture dagnji. U Tablici 1 prikazane su prosječne vrijednosti biometrijskih mjerenja.

Lokacija uzorkovanja	DULJINA LJUŠTURE (cm)	MASA MEKOG TKIVA (g)	MASA LJUŠTURE (g)	BROJ JEDINIKI U UZORKU
Estuarij Krke Jadrija	4,7 ± 0,39	2,9 ± 0,6	5,7 ± 1,58	18
Omiš - Estuarij Cetine	4,4 ± 0,49	1,7 ± 0,45	5,3 ± 1,09	17
Estuarij Krke - uzgajalište	7,0 ± 0,91	9,4 ± 2,99	11,9 ± 2,81	10
Kaštel Sućurac	5,4 ± 0,48	5,1 ± 0,79	8,2 ± 1,40	16

Tablica 1. Biometrijske značajke dagnji uzorkovanih na ispitivanim lokacijama

Iz kompozitnog uzorka mekog tkiva dagnji sa svake pojedine lokacije odvagano je 0,1 – 0,4 g mokrog uzorka koji je dalje razoren koncentriranom nitratnom (5ml) i koncentriranom perklornom kiselinom (0,2ml) na "hot plate-u" u laboratoriju Zavoda za istraživanje mora i okoliša, IRB, morska postaja Martinska, te usporedno u uređaju za razaranje mikrovalovima u Glavnom vodnogospodarskom laboratoriju Hrvatskih voda.

2.3. Uzorkovanje i priprema uzoraka vode

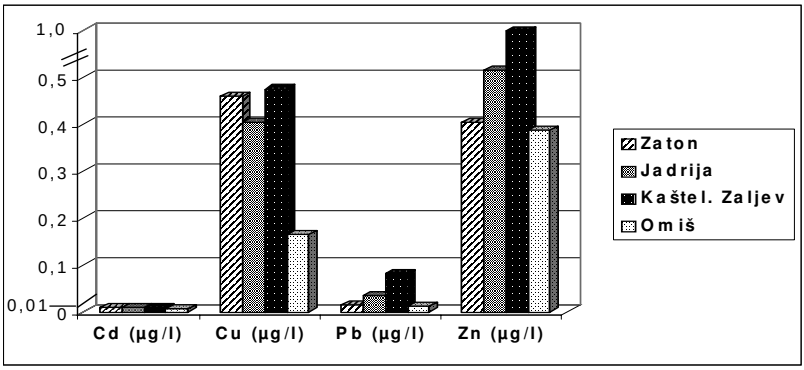
Voda je uzorkovana u FEP (florirani etilen-propilen) boce prethodno očišćene razrijeđenom dušičnom kiselinom i višekratno isprane MQ vodom. Estuarijska i morska voda je uzorkovana ručno iz potpovršinskog sloja na svim lokacijama uzorkovanja biote. Uzorci za određivanje otopljenih metala su filtrirani kroz celulozno nitratni filter-papir veličine pora 0,45 μm.

2.4. Mjerenje

U razorenim i razrijeđenim uzorcima biote izmjerene su koncentracije Cu, Zn, Pb i Cd i to u laboratoriju Zavoda za istraživanje mora i okoliša, IRB – diferencijalno pulsnom voltametrijom s anodnim otapanjem (DPVAO) te u Glavnom vodnogospodarskom laboratoriju HV – grafitnom tehnikom na atomskom apsorbcijskom spektrometru (GFAAS) (Perkin Elmer Analyst 800). Koncentracija žive u uzorcima biote izmjerena je metodom hladnih para na atomskom florescentnom spektrometru (Cetac QuickTrace M-8000) u Glavnom vodnogospodarskom laboratoriju HV. Koncentracija ukupnih i otopljenih metala u estuarijskoj i morskoj vodi određena je DPVAO u laboratoriju Zavoda za istraživanje mora i okoliša, IRB.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na Slici 1. grafički su prikazane koncentracije otopljenih metala u vodi na četiri mjerne postaje redom od sjevera prema jugu.



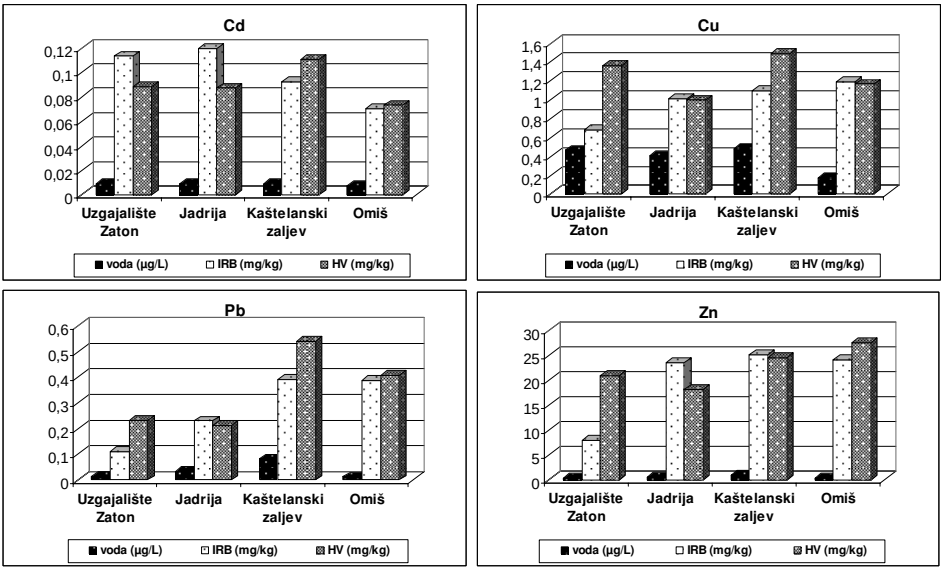
Slika 1. Koncentracije otopljenih metala u vodi na ispitivanim mjernim postajama

U razmatranje su uzeti samo otopljeni metali kao relevantna frakcija koja se akumulira u mekom tkivu dagnji.

Dobiveni rezultati višestruko su manji od maksimalno dozvoljenih koncentracija propisanih Uredbom o standardu kakvoće voda za navedene otopljene metale. Koncentracija otopljenog Cd na svim je postajama ujednačena i vrlo niska (0,007 µg/l - 0,009 µg/l). Prema dobivenim rezultatima za ostale otopljene metale u vodi uzorak mora iz Kaštelanskog zaljeva je najopterećeniji, dok je uzorak iz estuarija rijeke Cetine u mjestu Omiš najmanje opterećen.

Iako su dagnje prikupljene u Omišu najmanje, a dagnje prikupljene u uzgajalištu Zaton prema biometrijskim pokazateljima najveće, ne možemo sa sigurnošću utvrditi starost organizama što uvelike ovisi o životnim uvjetima, fizikalno-kemijskim svojstvima mikrostaništa te metabolizmu jedinke. Treba uzeti u obzir da su dagnje u uzgajalištu postavljene na točkama gdje vodeni tokovi i struje donose najviše hrane zbog čega je moguće da su brže rasle od dagnji u prirodnim staništima.

Na Slici 2. grafički su prikazane koncentracije pojedinog metala u vodi i mekom tkivu dagnji uzorkovanih na ispitivanim lokacijama i analiziranih u dva različita laboratorija pomoću dvije različite metode: u laboratoriju IRB – DPVAO i u laboratoriju HV – GF AAS metodom.



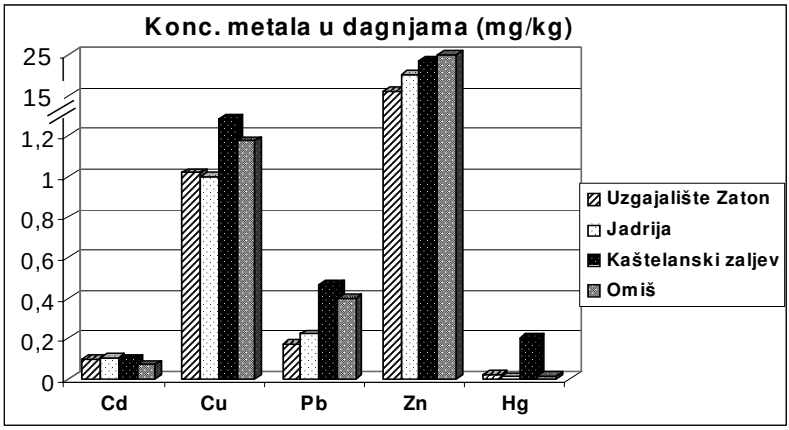
Slika 2. Koncentracije otopljenih metala u vodi i metala u mekom tkivu dagnji dobivenih pomoću dvije različite metode

Rezultati dobiveni pomoću dvije različite metode su za većinu uzoraka unutar uobičajene razlike od 30%, između analitičkih metoda koje se razlikuju u pripremi i detekciji metala u složenom organskom matriksu. Jedino su vrijednosti za uzorak dagnji iz uzgajališta Zaton dvostruko veće za metale Cu, Zn i Pb dobivene u laboratoriju HV nego u laboratoriju IRB. S obzirom da su dva laboratorija pripremala različiti poduzorak, dvostruko različite koncentracije metala mogu ukazivati na nedovoljnu homogenizaciju tog uzorka dagnji.

Uspoređujući koncentracije otopljenih metala u vodi i metala u mekom tkivu dagnji možemo zaključiti da se općenito iz vode najviše bioakumulira otopljeni Zn zatim Cd, nešto slabije Pb i najmanje otopljeni Cu.

Najveća razlika između trenutne koncentracije otopljenih metala u vodi i ukupne koncentracije metala u mekom tkivu dagnji nalazimo u uzorku iz Omiša – što otkriva da je prijašnje stanje rijeke Cetine u njezinu ušću bilo znatno lošije u pogledu zagađenja metalima. Dagnje su bez obzira na vrlo niske koncentracije otopljenih metala u vodi ukazale na prijašnje zagađenje tragovima metala. To potvrđuje tvrdnju da su dagnje odličan bioindikator koji daje smjernice za nastavak praćenja kakvoće vode u rijeci Cetini obzirom na sezonska događanja u priobalnom području.

Na slici 3. prikazana je srednja vrijednost koncentracija metala u mekom tkivu dagnji dobivenih analizom pomoću dvije različite metode.



Slika 3. Srednje vrijednosti koncentracija metala u mekom tkivu dagnji dobivenih pomoću dvije različite metode

Koncentracije ekotoksičnih metala Cd, Pb i Hg u mekom tkivu dagnji na svim ispitivanim lokacijama višestruko su manje od vrijednosti propisanih Pravilnikom o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani. Koncentracije Cd u mekom tkivu dagnji na svim lokacijama su vrlo niske (0,07 -0,1 μg/g) i prate trend koncentracija otopljenog Cd u vodi. Vrlo su niske i koncentracije Hg u uzorcima iz estuarija Krke i estuarija Cetine (0,012-0,020 μg/g), dok uzorak iz Kaštelanskog zaljeva sadrži deset puta više Hg (0,2 μg/g) što je i za očekivati obzirom na više od četrdeset godina ispuštanja žive u more iz bivše tvornice plastičnih masa. Koncentracije Pb su čak dvostruko veće u mekom tkivu dagnji iz Kaštelanskog zaljeva i Omiša (0,46 μg/g i 0,40 μg/g) u usporedbi sa uzorcima iz estuarija Krke (0,17 μg/g i 0,22 μg/g). Olovo dolazi u prirodu najčešće sagorijevanjem olovnih goriva, taloži se na cestama i prometnicama te ispiranjem dospjeva u vodene tokove. Poznato je da su Omiš i Kaštelanski zaljev vrlo prometna mjesta pa se povećana koncentracija Pb u mekom tkivu dagnji može pripisati antropogenom djelovaju uz obalno područje. Koncentracije esencijalnih mikronutrijenata Cu i Zn u mekom tkivu dagnji malo su povećane u uzorcima iz Kaštelanskog zaljeva i Omiša u odnosu na uzorke iz estuarija rijeke Krke.

Najniže koncentracije tragova metala u mekom tkivu dagnji uzorkovanih na dvije lokacije u estuariju rijeke Krke dokazuju da je taj estuarij prirodno vrlo pogodna lokacija za izgradnju uzgajališta školjaka. Zbog izrazite stratifikacije i relativno brze izmjene vodenog stupca u tom estuariju antropogeni je utjecaj, u pogledu tragova metala zanemariv.

Ovim istraživanjem je ustanovljeno da su koncentracije Cd, Cu, Pb, Zn i Hg u mekom tkivu dagnji uzorkovanih na lokacijama estuarija rijeke Krke (Zaton i Jadrija) gotovo identične kao i prije dvadesetak godina što se vidi iz usporedbi s rezultatima istraživanja provedenih 90-tih godina prošlog stoljeća u estuariju Krke (Martinčić i drugi, 1992). S druge strane, koncentracija Hg u mekom tkivu dagnji iz Kaštelanskog zaljeva je značajno manja nego prije nekoliko desetaka godina. Početkom 80–tih godina nađeno je 8,0-17,4 μg/g (Stegnar i drugi, 1980), a sredinom 80-tih godina nađeno je 2,6–13,3 μg/g Hg u mekom tkivu dagnji (Mikac i drugi, 1985), što je višestruko više od koncentracije Hg

(0,02 μg/g) koja je utvrđena ovim istraživanjem u uzorcima mekog tkiva dagnji iz priobalnog područja Kaštelanskog zaljeva. Takvi rezultati upozoravaju da zagađenje voda nema samo trenutni utjecaj već se zagađenjem toksičnim tvarima ostavljaju posljedice na ekosustav koje mogu trajati desetljećima.

ZAKLJUČAK

Iz rezultata istraživanja može se zaključiti da su koncentracije otopljenih metala Cd, Pb, Hg, Zn i Cu u vodi manje od maksimalno dozvoljenih koncentracija propisanih Uredbom o standardu kakvoće voda, kao i koncentracije ekotoksičnih metala Cd, Pb i Hg u mekom tkivu dagnji manje od najvećih dopuštenih količina propisanih Pravilnikom o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani .

Rezultati dobiveni u dva različita laboratorija pomoću dvije različite metode pripreme uzoraka i određivanja tragova metala su usporedivi. Rezultati se razlikuju unutar 30% što je prihvatljivo za analize tragova metala u kompleksnom organskom materijalu. Da bi rezultati bili uvijek usporedivi potrebno je osigurati vrlo dobro homogeniziran uzorak kako bi se izbjegla razlika u poduzorcima.

Iako su koncentracije istraživanih metala u vodi i mekom tkivu školjaka iz Kaštelanskog zaljeva (u blizini ispusta bivše tvornice plastičnih masa) u skladu sa zakonskim propisima, taj uzorak je daleko najzagađeniji, osobito u pogledu Hg.

Koncentracije tragova metala u mekom tkivu dagnji nužno ne prate niske koncentracije istih metala u vodi, što se pokazalo na uzorku iz estuarija rijeke Cetine u mjestu Omiš.

Usporedbom rezultata ovog istraživanja s rezultatima istraživanja koja su provedena na istim lokacijama prije dvadesetak godina utvrđeno je da su dagnje iz estuarija rijeke Krke gotovo iste kakvoće u pogledu tragova metala te da ljudske aktivnosti nisu ostavile negativne posljedice na taj ekosustav.

Koncentracija Hg u mekom tkivu dagnji drastično se smanjila nakon zatvaranja tvornice plastičnih masa i prestanka ispuštanja vrlo toksičnih otpadnih voda u priobalno područje Kaštelanskog zaljeva.

Istraživanja bi trabalo nastaviti u smjeru ispitivanja vode i školjkaša kao bioindikatora zagađenja, u svim velikim ušćima kako bi se utvrdio utjecaj rijeka na kakvoću priobalnih ekosustava.

LITERATURA:

[1] Blevins, R. D. & Pancorbo, O. C. (1985): *Metal concentrations in muscle of fish from aquatic systems in East Tennessee*, USA. Water, Air and Soil Pollution, 29: 361-371.

[2] Bryan, G. W. (1973): *The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops Pecten maximus and Chlamys opercularis.* Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 53: 145-166.

[3] Förstner, U. & Wittmann, G. T. W. (1983): *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, p. 486.

[4] Gupta, B. & Mathur, A. K. (1983): *Toxicity of heavy metals*. Indian Journal of Medical Science, 37: 236-240.

[5] Kwokal, Ž. & Branica, M. (2003): *Gaseous mercury species in the polluted part of the Kaštela Bay* (eastern Adriatic coast). The 14th International Conference: Air Quality – Assessment and Policy at Local, Regional and Global Scales / Krešimir Šega(ur).

[6] Zagreb: Croatian Air Pollution Prevention Association (CAPPA), 2003. 267-272.

[7] Martinčić, D., Kwokal, Ž. & Branica, M. (1987): *Trace metals in selected organisms from the Adriatic sea.* Marine Chemistry, 22: 207-220.

[8] Martinčić, D., Kwokal, Ž., Peharec, D., Marguš, D. & Branica, M. (1992): *Distribution of Zn, Pb, Cd and Cu between seawater and transplanted mussels (Mytilus galloprovincialis)*. The Science of the Total Environment, 119: 211-230.

[9] Metcalfe-Smith, J. L., Green, R. H. & Grabentine, L. C. (1996): *Influence of biological factors on concentrations of metals in the tissues of freshwater mussels* (*Elliptio complanata* and *Lampsilis radiata*) from the St. Lawrence River. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53: 205-219.

[10] Mikac, N. & Picer, M. (1985): *Mercury distribution in a polluted marine area. Concentrations of methylmercury in sediments and some marine organisms*. Science of the Total Environment, 43: 27-39.

[11] Millington, P. J. & Walker, K. F. (1983): *Australian freshwater mussel Velesunio ambiguus (Philippi) as a biological monitoring for zinc, iron and manganese*. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 34: 873-892.

[12] Phillips, D. J. H. (1980): *Quantitative Aquatic Biological Indicators*: *Their Use to Monitor Trace Metal and Organochlorine Pollution*. Applied Science Publishers LTD, London, p. 488.

[13] Pravilnik o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani, „Narodne novine“ br. 46/07.

[14] Ravera, O., Beone, G. M., Cenci, R. & Lodigiani, P. (2003): *Metal concentrations in Unio pictorum mancus (Mollusca, Lamellibranchiata) from of 12 Northern Italian lakes in relation to their traphic level.* Journal of Limnology, 62: 121-138.

[15] Uredba o standardu kakvoće voda, „Narodne novine“ br. 89/10.

[16] Stegnar, P., Vukadin, I., Smodiš, B., Vaskelj, A. & Prosenc, A. (1980): *Trace elements in sediments and organisms from Kaštela Bay.* Ves Journees. Etud. Pollutions. CIESM, Cagliari, p. 595-600.

[17] Viarengo, A. & Canesi, L. (1991): *Mussels as biological indicator of pollution*. Aquaculture 94, 225.

[18] UNEP/MAP/PAP (2000): *River Cetina watershed and the adjacent costal area: Environmental and socio-economic profile*. Priority action programme, Split, p. 165.

AUTORI

Helena Crnojević[1]
Renata Ćuk[1]
Marija Marijanović Rajčić[1]
Krešimir Maldini[1]
Ivan Grabar[2]
Željko Kwokal[2]
Marina Mlakar[2]

[1] Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, *helena.crnojevic@voda.hr*

[2] Institut Rudjer Bošković, Centar za istraživanje mora, Bijenička cesta 54, POB 180, Zagreb, 10002, Hrvatska, *kwokal@irb.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 1.65.

SEAWATER QUALITY MONITORING DURING DREDGING ACTIVITIES AT CEPSA PROJECT

Iva Šebelja

SUMMARY: CEPSA's (Compañía Española De Petróleos, S.A.) pipeline system between an offshore crude oil loading buoy and their refinery in Huelva, Spain, was installed in 1966 and is now planned for replacement. In 2010 started the Procurement, Supply, Construction and Precommissioning of La Rábida Refinery Sealine Replacement Project. Environmental documentation developed for the project (*Documento Ambiental Proyecto de sustitución parcial de la tubería de abastecimiento de crudo a la Refinería La Rábida*) stipulates performance of the water quality monitoring during dredging activities. Water quality monitoring was imposed in order to track and minimize the adverse impact on marine flora and fauna. Environmental Impact Assessment was not necessary to be developed for the Project as per Spanish Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs issued *Resolution of 5 May 2010*. The *Resolution* specifies parameters which should be monitored (measurements in situ and laboratory analysis). Before start of any site activities preoperational water sampling and analysis campaign was performed to determine the initial state of water quality surrounding dredging area. Furthermore one campaign was performed every week of dredging works. The sampling was performed on 5 sampling stations (two on each side of the trench point, two on each side of dumping area and one control station at sufficient distance from the dredging point). The reference values to detect pollution were those obtained in the preoperational campaign and in the control station of each campaign. The dredger was equipped with a silt screens (*equipment designed to contain and control the dispersion of suspended solids and turbidity in water; silt screens minimise silt dispersion by improving settling times of suspended solids in a defined area, with less impact on the immediate and surrounding aquatic habitat*). Based on the results obtained in each of the water sampling campaigns, the necessity of using silt screens in order to minimize dispersion of suspended particles outside the area of action will be determined. The details of project, dredging, water sampling and results are presented in this paper.

KEY WORDS: Seawater, Dredging, Water quality Monitoring, Turbidity

PRAĆENJE KVALITETE MORA TIJEKOM JARUŽENJA U OKVIRU CEPSA PROJEKTA

SAŽETAK: Naftovod CEPSA-e (Compańía Española De Petróleos, S.A.) između ukrcajnog terminala na moru i rafinerije u Huelvi, Španjolska postoji od 1966. te je planirana njegova zamjena. Godine 2010. započeo je projekt La Rábida Refinery Sealine Replacement Project, projekt nabave, opskrbe, izrade i testiranja naftovoda. Dokumentacija zaštite okoliša razvijena za projekt, između ostalih mjera zaštite okoliša, zahtjeva i praćenje stanje kvaliteta mora tijekom jaružanja. Praćenje stanja kvalitete mora zahtijevano je kako bi se utvrdili, te minimizirali utjecaji na morsku floru i faunu. Studija utjecaja na okoliš nije bila potrebna, već samo *Resolution of 5 May 2010* izdana od španjolskog Ministarstva zaštite okoliša, poljoprivrede i pomorstva. Rezolucijom je specificirano koje parametre treba pratiti (mjerenja na mjestu uzorkovanja, te laboratorijske analize). Prije samog početka radova provedena je kampanja uzorkovanja i analize mora, kako bi se utvrdilo početno stanje kvalitete mora na području jaruženja prije ikakvog vanjskog utjecaja. Tijekom jaruženja provedene su tjedne analize kvalitete mora. Uzorkovanje je obavljeno na 5 punktova (dva sa svake strane jarka, dva sa svake strane mjesta iskrcaja materijala te jedna kontrolna stanica na dovoljnoj udaljenosti od mjesta jaruženja). Referentne vrijednosti korištene za detektiranje onečišćenja dobivene su tijekom kampanje provedene prije početka radova, te na kontrolnoj točki. Brod je tijekom jaruženja bio opremljen sa zaslonima (*oprema dizajnirana za zadržavanje i kontrolu disperzije suspendiranih tvari i zamućenosti vode; zasloni smanjuju disperziju kontroliranjem taloženja suspendiranih tvari u određeno područje, s manje utjecaja na neposredna i okolna vodenih staništa*) koji bi se koristili u slučaju ako se detektiraju povećane vrijednosti onečišćivača u vodi da se spriječi širenje u okolno područje, tj. da se onečišćenje lokalizira. Detalji o projektu, jaruženju, praćenju stanja kvalitete mora i rezultati prikazani su u ovom radu.

KLJUČNE RIJEČI: More, Jaruženje, Praćenje kvalitete vode, Zamućenost

1. INTRODUCTION

CEPSA proposed to partially replace the sub sea crude oil pipeline supplying La Rábida Refinery (RLR) in Palos de la Frontera (Huelva). 3,800 m section of the subsea crude oil pipeline supplying RLR was replaced and the connection of the sub sea line with the Sea-Line and its connection to the monobuoy was renovated.

In order to carry out the project, the land surrounding Juan Carlos I Dike needed to be used as an auxiliary zone during construction; this land is included within the Nature 2000 Network site listed as Site of Community Importance (SCI) and Special Protection Area (SPA) for birds “Marismas del Odiel” (ES0000025).

In order to protect the nature and marine environment during the project activities certain monitoring had to be done. Environmental Monitoring Plan was developed (EMP). EMP outlines the Monitoring and Control Program in relation to the corrective and protective measures outlined in the Environmental Document, and those also outlined in the *Resolution of 5th May 2010*.

2. CEPSA PROJECT - OVERVIEW

Project scope of work was to deliver the 36" onshore and offshore oil pipeline and PLEM (Pipeline End Manifold). The offshore section started at tie-in point with onshore section (Figure 1). Offshore section of shore approach trench was pre-dredged and after pipe shore pulling and hydrotesting operations mechanically backfilled with the material previously dredged from the trench along the whole route. Dredged material was medium to coarse sand. Maximum water depth at the buoy is 22.5 m. The bathymetry is very gently shelving with 5m water depth approximately 2.3 km offshore. Dredged material was disposed within 500 m from the trench centerline. Dumping of material in the dump zone was controlled and monitored.

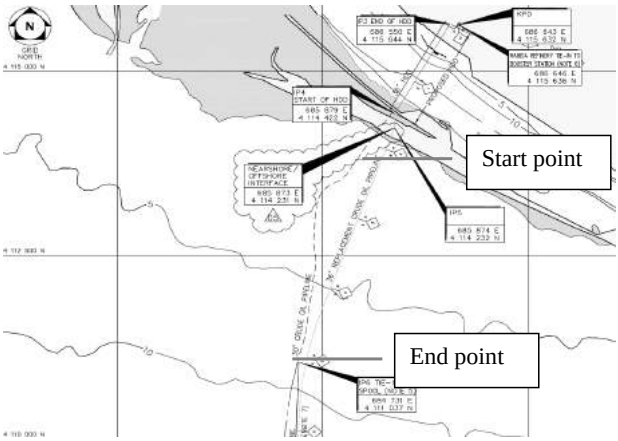


Figure1. Location of the pipeline

1.1 Dredging works at CEPSA Project

A trailing suction hopper dredger (TSHD) was used for dredging works on project in order to minimize turbidity. Dredging is an excavation activity or operation usually carried out at least partly underwater, in shallow seas or fresh water areas with the purpose of gathering up bottom sediments and disposing of them at a different location. In this case dredging is used to dig out the trench for pipelay, to protect it from the different external impacts.

The TSHD deployed on the project is sea-going self-propelled vessel, equipped with one suction pipe and a centrifugal dredge pump. A suction head ("drag head") is fixed to the end of the suction pipe. The vessel moves forward at a slow speed and the drag head is dragged along the seabed. The mixture of sand and water is sucked up into the internal hopper, where the solids settle. As soon as the hopper is loaded, the TSHD sails to the stockpile area. Subsequently, the dredged material will be discharged at the temporary underwater stockpile through the doors in the bottom of the hopper.

2. ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE PROJECT

Documento Ambiental Proyecto de sustitución parcial de la tubería de abastecimiento de crudo a la Refinería La Rábida was developed for the project. Additional Environ-

mental Impact Assessment was not necessary according to the *Environmental Resolution for La Rábida Refinery Sealine Replacement Project (Resolution of 5 May 2010*) issued by Spanish Ministry of Environment, Rural and Marine Affairs (MARM). *Documento Ambiental* requires performing water turbidity monitoring; however additional seawater quality monitoring during dredging activities (heavy metals, nutrients, suspended solids) was required by MARM Resolution.

The process of dredging creates spoils (excess material), which are carried away from the dredged area. Dredging can create disturbance in aquatic ecosystems, often with adverse impacts.

The impact means increased turbidity, raising the toxic chemicals contained in soil in surrounding sea water which can affect aquatic species metabolism, spawning and interfere with its orientation, also can have damaging impact on benthic communities in means of destroying them completely or reduce their quantity at the working area. Furthermore disposing of the dredged material is not harmless. It has the same effect as the dredging, turbidity rising, covering the native benthic communities or relocating the hazardous materials.

The nature of dredging activities and the way they impact flora and fauna resulted in requirements for close monitoring of surrounding environment while dredging.

During the dredging of the marine trench, water quality monitoring was carried out in order to detect possible anomalies and pollution that could affect the quality of the marine environment.

2.1 Environmental Monitoring of the CEPSA Project

Environmental Monitoring Plan was developed describing in details monitoring activities including complete seawater monitoring quality. The monitoring was performed at 5 sampling stations (Figure 2):

- Two sampling stations on each side of the point of the trench where measurements are being made, at the distance of 100 m.
- Two sampling stations on each side of the dumping area in use, at the distance of 100 m.
- A control station at a sufficient distance from the dredging point so as to ensure that it is unaffected by the environmental conditions (approx. 1 km).

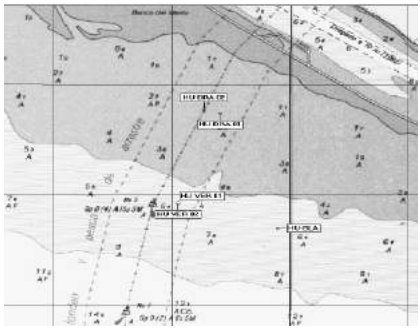


Figure 2. Sampling stations

One campaign was held before dredging started (pre-operational campaign), 3 campaigns while dredging is being performed and one post-operational (after the work completion).

In each campaign two types of tasks were carried out:

- Measurements in situ: temperature, pH, dissolved oxygen, redox potential, conductivity/salinity, turbidity. On-going profiling was performed using a multi-parameter probe at the 5 stations. For in situ measurements Hydrolab DS5X Water Quality Sonde was used.
- Taking samples of water and laboratory analysis: in each sampling campaign, water samples were taken for determining in the laboratory the following parameters: suspended solids, nutrients, heavy metals (Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, Hg and Cd) and total hydrocarbons. In each campaign water samples were taken in three of the five stations: pre-operational and post-operational one at the dredging and one at the dumping area plus one at the control station. During the dredging every other week samples were taken at the dredging or at the dumping area plus at the control station. Samples for laboratory analysis were taken on three different sea levels (near the surface, in the middle and near the sea bottom -1m above). Samples for the laboratory testing were taken by hand in first case, in second and third oceanographic bottle type Rutter 2L was used.

For the detection of suspended solids, nutrients, heavy metals (Cr, CU, Ni, Zn, Pb, Hg and Cd) and total hydrocarbons following analytical methods were used:

- suspended solids - gravimetry,
- nutrients - spectrophotometry,
- total hydrocarbons - IR spectrophotometry,
- heavy metals - ICP-AES (Inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometry).

The reference values to detect pollution were those got in the preoperational campaign and in the control station of each campaign.

The dredger was equipped with silt screens. Based on the results got in each of the water sampling campaigns, the necessity of using silt screens in order to avoid the dispersion of suspended particles outside the area of action were determined. Dredging of the trench started on June 19th, 2010.

First water sampling campaign was done on 15 June 2010. It was a preoperational water sampling campaign to determine the status of parameter limits in normal natural surroundings without any external activities. Other campaigns were performed on 24 June, 1 July, 8 July and post operational one on 15 July 2010.

4. RESULTS

4.1 In situ measurements

The results of in situ measurements in 5 campaigns, at five sampling stations up to 10 m of water depth were:

- Temperature (Temp /°C)

Temperature results during the campaigns on all of the sampling stations and depths are acceptable for the year season of project activities. Temperature goes form 17°C to 25°C, what is reasonable for summer period. There are no major deviations between the stations or campaigns.

- pH (Units)

All the results are in the range of 8 - 8,5 units, which is considered acceptable for the sea water. The results are normal for the summer year period.

- Turbidity (NTU)

Seawater turbidity measurements before, during and after dredging activities at all of five sampling stations and different depths are showing that in most cases the turbidity results are in the range of acceptable (0 - 10 NTU). In addition to the dredging and disposing activities effect on turbidity could also have some other hydrological parameters affect resuspension of sediments. During the post-operational campaign the turbidity measurements were high in certain depth levels (up to 59 NTU). That could not in any case be connected with the project activities due to the fact that the activities were finished a week before. The high turbidity results could be connected with the meteorological conditions, strong wind that was present before and during the sampling activities. Also there were two jumps of turbidity (up to 18 NTU) during the preoperational campaign at HU DRA 1 and HU DRA 2, but as explained above it has nothing to do with project activities. D. Jose Carlo Garcia Gomez professor at the marine biology laboratory at Departamento de Fiziologia y Zoologia de la Universidad de Sevilla, Spain, established that results up to 40 NTU are acceptable and do not have an adverse effect on marine flora and fauna.

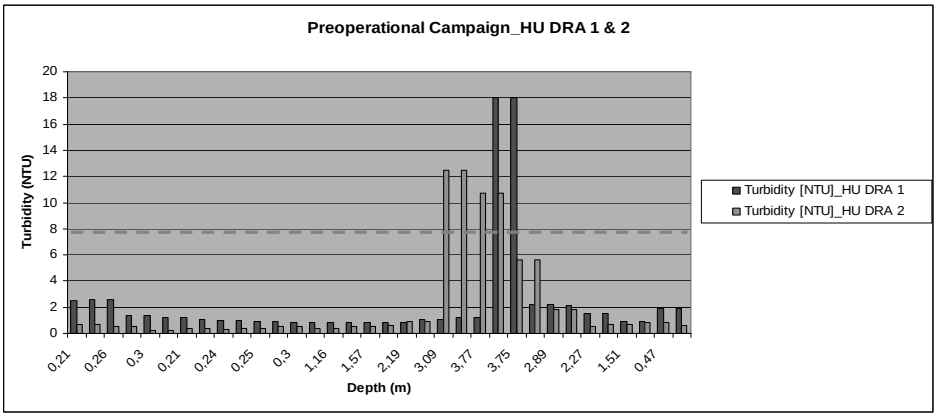


Figure 3. Preoperatinal campaign turbidity results at HU DRA 1 and HU DRA 2

- Dissolved oxygen (LDO)

Results for dissolved oxygen are in range of acceptable for the seawater (7 - 8 mg/l) and the projects activities have had no impact on it.

- Redox potential (ORP /mV)

Results are in acceptable range (100 - 210 mV). There was no change in the results from the preoperational campaign throughout the ones done during dredging activities.

- Salinity/Conductivity (Sal /ppt, SpCond / mS/cm)

Results are in range for the period of the year and there are no major exceptions between the preoperational results and the ones during the project activities (salinity 31 - 38 ppt, conductivity 55 mS/cm).

4.2 Laboratory analysis

Except the comparison with the results from preoperational campaign laboratory results can be compared with the Spanish local legislation *Orden de la Consejeria de Medioa Ambiente form 14 February 1997 (Orden)*, classifying costal sea affected by disposing activities. However this comparison needs to be taken with a bit of precaution while it is not referred to the exact activity as observed in this paper. The limit values are shown in table below.

Baseline limits as per the Orden de la Consejeria de Medioa Ambiente form 14 February 1997		
PARAMETER		CONCENTRATION mg/L
Nutrients	Nitrates	1.0
	Nitrites	0.6
	Ammonia	1.0
	Ortophosphates	0.6
	Silicates	/
Heavy Metals	Cadmium	0.0025
	Chromium	0.01
	Zinc	0.06
	Nickel	0.025
	Lead	0.01
	Mercury	0.0003
	Copper	0.02
Suspended solids		1.2 (in normal conditions, no external effects)

Table 1 Baseline limits as per the Orden de la Consejeria de Medioa Ambiente form 14 February 1997

- Suspended solids

The obtained results for the suspended solids during the campaigns are much higher than prescribed by the *Orden* (up to 28mg/l). However we should take in consideration that the *Orden* prescribes the limits without external effects, which is not the situation in this case. Additionally, the higher results could be observed during the 1st and 2nd campaign which can be ascribed to the dredging and disposing activities. At the other campaigns the decrease in the results is observable. Increase of the suspended solids was just a temporary, during dredging activities. Meteorological conditions also contributed to the higher

results. Samples were taken one week at dredging and other week at disposing area ad each time in control station at surface in the middle and near the bottom. The results are following:

Campaign	**ANALYSIS RESULTS (mg/L)**								
Preoperational	HU DRA 01			HU VER 01			HU BLA		
	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
	15	12	12	6	7	9	7	8	8
1st	HU DRA 01			HU DRA 02			HU BLA		
	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
	19	26	26	8	17	9	10	28	12
2nd	HU VER 01			HU VER 02			HU BLA		
	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
	6	8	19	20	8	14	8	2	22
3rd	HU DRA 01			HU DRA 02			HU BLA		
	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
	7	11	10	6	11	8	8	11	5
Postoperational	HU DRA 01			HU VER 01			HU BLA		
	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
	4	7	15	<2	4	4	<2	<2	<2

Table 2 Suspended solids laboratory results

- Nutrients and Heavy metals

The results for both nutrients and heavy metals are far below the permissible limits prescribed by the *Orden*. Just one result in one occasion (nitrates during the preoperational campaign at the control station) is above the limit (1.7 mg/l). As this is an isolated case and in the preoperational campaign it was not considered. The nutrients results during the campaigns sometimes exceed the results gained for the control station. However there are always below the *Orden* limits.

Campaign	ANALYSIS RESULTS (mg/L)									
		HU DRA 01			HU VER 01			HU BLA		
		SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
Preoperational	Nitrates	0.83	0.88	0.76	0.63	0.81	0.94	0.70	1.7	0.80
	Nitrites	0.013	0.017	0.013	0.013	0.013	0.017	<0.010	<0.010	0.013
	Ammoniac	<0.010	0.013	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Orthophosphates	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Silicates	0.073	0.053	0.090	0.087	0.072	0.12	0.093	0.067	0.062
		HU DRA 01			HU DRA 02			HU BLA		
		SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
1st	Nitrates	0.19	0.17	0.27	0.17	0.29	0.60	0.24	0.25	0.25
	Nitrites	0.079	0.066	0.066	0.063	0.066	0.083	0.076	0.079	0.073
	Ammoniac	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Orthophosphates	0.070	0.058	0.031	0.142	0.042	0.053	0.064	0.039	0.041
	Silicates	<0.010	<0.010	<0.010	0.011	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
		HU VER 01			HU VER 02			HU BLA		
		SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
2nd	Nitrates	0.24	0.25	0.22	0.16	0.19	0.16	0.19	0.18	0.19
	Nitrites	0.092	0.086	0.086	0.076	0.086	0.069	0.089	0.083	0.083
	Ammoniac	<0.010	0.012	0.015	0.010	<0.010	0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Orthophosphates	0.077	0.049	<0.010	0.072	0.026	0.022	0.084	<0.010	<0.010
	Silicates	0.125	0.088	0.187	0.123	0.016	0.224	0.076	0.173	0.181
		HU DRA 01			HU DRA 02			HU BLA		
		SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
3rd	Nitrates	0.21	0.15	0.26	0.13	0.13	0.14	0.32	0.13	0.22
	Nitrites	0.030	0.040	0.033	0.030	0.033	0.040	0.026	0.033	0.046
	Ammoniac	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Orthophosphates	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Silicates	<0.010	0.010	0.034	0.037	0.027	0.033	0.042	0.021	0.022
		HU DRA 01			HU VER 01			HU BLA		
		SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT	SUR	MID	BOT
Postoperational	Nitrates	0.053	<0.010	0.5	0.24	0.24	0.22	0.26	0.17	0.19
	Nitrites	0.12	0.21	0.35	0.11	0.12	0.12	0.13	0.11	0.12
	Ammoniac	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Orthophosphates	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
	Silicates	0.13	0.14	0.14	0.12	0.18	0.21	0.15	0.21	0.27

Table 3 Nutrients laboratory results

In case of heavy metals results they are constantly below the results gained at the control station as the ones prescribed by the *Orden* (<0.05 mg/L).

- Total hydrocarbons

In all the cases of the samples analysis the hydrocarbons are below the detectable limits (<0,020mg/L).

CONCLUSION

Dredging and disposing of the dredged material during CEPSA Project did not produce negative or adverse impact on the marine environment. All the results were below permissible limits prescribed by the Spanish local legislation or below the limits gained during

the pre-operational campaigns. Some deviations observed during seawater quality monitoring are the result of the meteorological conditions during sampling activities (wind, currents…). Silt screens were not deployed during dredging.

ACKNOWLEDGEMENTS

- Prof. dr. sc. Goran Kniewald, Institute «Ruđer Bošković», Department for Marine and Environmental Research;
- Roberto Orsolato, CEPSA Project Manager, Saipem Mediterranean Services Llc.;
- Mika Frano, QHSE Manager, Saipem Mediterranean Services Llc.;
- Nebojsa Soso, HSE Manager, Saipem Mediterranean Services Llc.

REFERENCES

[1] BOSKALIS Offshore bv Sucursal España S.A., 4/07/2010, Procedure For Dredging/Trenching Works.

[2] BOSKALIS Offshore bv Sucursal España S.A., 30/08/2010, Procedure For Backfilling Works.

[3] BOSKALIS Offshore bv Sucursal España S.A., 1/03/2010, Technical Proposal, Cepsa - Rabida Replacement Sealine Project Tdr 2326 - Proposal - Dredging, Backfilling And Shore Approach Scope Of Work.

[4] INERCO, Environmental Division, August 2010, Environmental Monitoring Plan, Project Of Partial Replacement Of The Crude Oil Supply Pipeline To La Rábida Refinery (Marine Section).

[5] INERCO, Environmental Division, Junio 2010, Informe Vigilancia Ambiental, Proyecto De Sustitució Parcial De La Tubería De Abastecimiento De Crudo A La Rlr (Tramo Submarino).

[6] INERCO, Environmental Division, Julio 2010, Informe Vigilancia Ambiental, Proyecto De Sustitución Parcia De La Tubería De Abastecimiento De Crudo A La Refinería La Rábida (Tramo Submarino).

[7] INERCO, División de Medio Ambiente, Documento Ambiental Proyecto de sustitución parcial de la tubería de abastecimiento de crudo a la Refinería La Rábida, 11/01/2010.

[8] ORDEN de 14 de febrero de 1997, por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de calidad de las aguas litorales.

[9] Resolution of 5th May 2010, on environmental impact assessment of the project Partial Replacement of the oil supply line to the La Rábida refinery. Huelva.

[10] Saipem Mediterranean Services Llc., 26/08/2010, Project Execution Plan.

[11] http://en.wikipedia.org/wiki/Dredging.

AUTOR

Iva Šebelja,dip. san. ing. [a]

[a] SAIPEM Mediterranean Services Llc., A.Colonnella 2, Rijeka, Croatia, iva.sebelja@saipem.com

TEMA 2.

SUSTAVI UREĐENJA I KORIŠTENJA VODA I ZEMLJIŠTA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI

Recenzenti:

Danko Biondić, Danko Holjević, Marko Josipović, Nenad Leder, Josip Marušić, Mladen Petričec, Anđelka Plenković - Moraj, Davor Romić, Josip Rupčić, Jasna Šoštarić, Lidija Tadić, Ranko Žugaj

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.01.

RAZLOZI IZGRADNJE I KONCEPCIJA POKRETANJA IZGRADNJE VIŠENAMJENSKIH HIDROTEHNIČKIH SUSTAVA U HRVATSKOJ

Željko Pavlin, Zlatko Pletikapić

SAŽETAK: Višenamjenskim hidrotehničkim sustavima ako su dobro osmišljeni značajno se povećava vrijednost prostora u njihovom okolišu i otvaraju se nove mogućnosti razvitka niza gospodarskih djelatnosti. Povećanje vrijednosti prostora i otvaranje novih dugoročno održivih radnih mjesta velike su indirektne koristi od ovih sustava koje njihovom izgradnjom dobiva cijela zajednica. Može se dokazati da je sukladno tome učešće države u njihovom pokretanju i opravdano i nužno, ali je zbog njihovih specifičnosti ulazak u takve poduhvate složen i zahtijeva pripremu ne samo s aspekta organizacije i vođenja, već i s aspekta njihovog usklađivanja s prostornim uvjetima, ishođenja dozvola za gradnju, financiranja i kasnijeg korištenja. Na nekoliko primjera ovakvih sustava čije osmišljavanje traje već i više desetljeća (Kanal Dunav-Sava, uređenje Save na području Zagreba, VHS Osijek) prikazati će se problemi koji usporavaju njihovu realizaciju i predložiti će se prioritetni koraci koji će pokrenuti te poduhvate.

KLJUČNE RIJEČI: višenamjenski hidrotehnički sustavi, financiranje, priprema projekta, pokretanje izgradnje

SUMMARY: Well designed multipurpose hydrotechnical systems significantly increase the value of land and environment and create new possibilities for development of business activities. Increase in land value and creation of new sustainable jobs are large indirect benefits to the community generated by these systems. Thus, it can be proved that the state participation in initiation of such projects is necessary and justified but complex, and requires preparation, not only in terms of organization and leadership, but also considering physical planning, obtaining permits for construction, financing and subsequent use. Through several examples of such systems, whose planning has lasted for decades and more (the Danube-Sava Channel, The Sava River Multipurpose Development Scheme for the City of Zagreb, Osijek Hydro System) the problems that slow down their implementation will be presented and the priority steps that will move these project from a standstill will be suggested.

KEY WORDS: multipurpose hydrotechnical systems, financing, preparation project, starting construction

1. UVOD

Višenamjenski hidrotehnički sustavi predstavljaju kapitalne investicije od javnog značaja, koje su potrebne našoj zajednici jer povećavaju zaposlenost stanovništva, otvaraju nove mogućnosti razvitka, te povećavaju ukupni standard življenja i ukupnu vrijednost našeg prostora. Zbog toga ovi sustavi neosporno zahtijevaju učešće države u njihovoj pripremi i provedbi.

Kako je riječ o sustavima koji utječu na različite korisnike prostora u svom okruženju, potrebno je kod njihove realizacije postići međusobnu suradnju većeg broja različitih i državnih i gospodarskih institucija. Činjenica je kako Republika Hrvatska praktično nema pozitivnih primjera i iskustava, a niti zakonske regulative vezane uz realizaciju višenamjenskih sustava. Zato je osmišljavanje načina organizacije provedbe ovakvih poduhvata jedan od ključnih elemenata za njihovu uspješnu realizaciju.

Na početku će se iznijeti razlozi za korištenje ekonomskih metoda kod donošenja odluka i dokazivanja opravdanosti ulaska države u ovakve složene višenamjenske poduhvate. Nakon toga dati će se osvrt na moguće izvore financiranja, te pregled i komentar ostalih pretpostavki za provedbu razmatranih projekata.

2. METODOLOGIJA VREDNOVANJA PROJEKATA

Uspostava jedinstvenog metodološkog pristupa za vrednovanje i usporedbu infrastrukturnih projekata, pod koje potpadaju i višenamjenski hidrotehnički sustavi, od ključnog je značaja za donošenje ispravnih odluka o opravdanosti ulaska u takve poduhvate. Jedinstvena metodologija osigurava objektivnost u usporedbi takvih projekata, a ako je ona pri tome utemeljena na ekonomskim kriterijima, tada se zbog korištenja tržišnih informacija u vrednovanju takvih poduhvata dobiva i objektivnost u ocjeni opravdanosti njihove provedbe i u ocjeni njegove dugoročne održivosti. Korištenje jedinstvene metodologije vrednovanja ovakvih projekata utemeljene na ekonomskim kriterijima prilika je i za osmišljavanje svih mogućih koristi koje se postižu njihovim ostvarivanjem.

U velikom broju zemalja s razvijenim tržišnim gospodarstvom (SAD, Japan, veći dio članica EU), ali i u velikim investicijskim bankama (uključujući Svjetsku banku, Europsku investicijsku banku, Europsku banku za obnovu i razvoj) uobičajeno je korištenje ekonomskih metoda kod donošenja odluka o ulasku u složene infrastrukturne zahvate i u razne razvojne poduhvate, ali i kod razmatranja strateških planova i načina upravljanja resursima i kod pripremanja izmjena u zakonskoj regulativi.

Od takvih ekonomskih metoda najčešće se koristi tzv. analiza troškova i koristi (eng. „cost-benefit analysis“) u okviru koje se kod valorizacije i ocjene projekta i planova razmatraju svi troškovi njihove provedbe, kao i sve društvene koristi, raspoređeni kroz vrijeme koje odgovara razdoblju provedbe i korištenja realiziranog poduhvata. To znači kako se ovom ekonomskom analizom obuhvaćaju i gospodarski i socijalni i ekološki i vremenski aspekti projekata i planova. Odnosno, ovom je analizom moguće razmatrati ispunjavanje svih društvenih ciljeva u vremenskoj perspektivi, a koje se želi ostvariti kroz realizaciju odabranih poduhvata, od utjecaj na gospodarstvo do utjecaja na društvene odnose i na okoliš. Na temelju analize ukupnih troškova i koristi poduhvata kroz vrijeme njegovog trajanja moguće je također rangirati projekte i odrediti najpovoljnije u pogledu postizanja njihove društvene opravdanosti.

Posebno se ističe kako je vrednovanju ovakvih poduhvata važno pristupiti cjelovito i sveobuhvatno, pa se svi troškovi i sve koristi koje se stvaraju kroz njihovu realizaciju utvrđuju najopćenitije kao:

- troškovi izgradnje i korištenja zahvata ili sustava (Tz),
- troškovi nadoknade izgubljenih prirodnih i društvenih vrijednosti zbog nepovoljnih utjecaja projekta (Ti),
- troškovi izgubljenih vrijednosti budućih generacija zbog realizacije projekta (Tb),
- neuporabne vrijednosti prostora koje se gube realizacijom projekta (Tv),
- direktne koristi koje nastaju iz svih predviđenih namjena zahvata (Dv),
- indirektne koristi koje proizlaze iz pratećih funkcija zahvata (Iv),
- moguće koristi koje zahvat omogućava budućim generacijama (Mv),
- neuporabne vrijednosti koje se dobivaju izgradnjom zahvata (Nv).

Ukoliko se analizom tako utvrđenih troškova i vrijednosti koje se stvaraju, svedenih diskontiranjem na prvu godinu razmatranja, uspostavi vrijednosni odnos:

$$Dv + Iv + Mv + Nv > Tz + Ti + Tb + Tv$$

smatra se kako je razmatrani projekt opravdan, održiv i da njegova realizacija daje doprinos razvoju.

Tako se u slučaju višenamjenskih hidrotehničkih sustava može također vrlo jasno pokazati kako objedinjavanjem interesa pojedinačnih korisnika u zajedničkoj realizaciji zahvata svaki od njih, ali i ukupno društvo, ostvaruje višestruku korist. Odnosno, kako bez povezivanja većeg broja korisnika u zajedničku investiciju niti jedan od njih sam za sebe neće ostvariti optimalne ciljeve ili ih uopće neće ostvariti.

Primjer jednog takvog višenamjenskog poduhvata koji usprkos ukupnoj opravdanosti nije realiziran zbog izostanka dogovora njegovih budućih korisnika o učešću u zajedničkoj investiciji je projekt „Zagreb na Savi“.

Hrvatska je elektroprivreda razmatrala krajem prošlog stoljeća mogućnost izgradnje sustava za energetsko korištenje hidropotencijala rijeke Save na potezu od granice s Republikom Slovenijom do profila Rugvica istočno od Grada Zagreba. Analiza troškova i koristi takvog sustava pokazala je kako je takav pothvat elektroprivredi neisplativ, odnosno da bi troškovi koje bi elektroprivreda trebala snositi prilikom izgradnje cjelovitog sustava daleko nadmašili ostvarene koristi od proizvodnje električne energije. Međutim, cjeloviti sustav uređenja i korištenja rijeke Save postavljen i razmatran u „Prethodnoj studiji izvodljivosti uređenja i korištenja rijeke Save od Republike Slovenije do Rugvice“ (Elektroprojekt 2003.), a koji bi se sastojao i od slijedećih dodatnih koristi:

- povećanja postojeće razine sigurnosti obrane od poplava Grada Zagreba i nizvodnih područja,
- uspostavljanja trajne zaštite od poplava područja od granice s Republikom Slovenijom do Podsuseda i povećavanja sigurnosti obrane od poplava cijelog područja u budućim uvjetima izgradnje uzvodnih hidroelektrana u Sloveniji,
- stabiliziranja korita rijeke Save na cijelom potezu razmatranja,
- povećavanja izdašnosti vodonosnika za potrebe vodoopskrbe,

- dugoročnog povećavanja sigurnosti vodoopskrbe u široj regiji u smislu osiguranja potrebnih količina i kakvoće voda,
- povećavanja energetske sigurnosti za Grad Zagreb i regiju kroz smanjivanje ovisnosti o uvoznim energentima i povećavanje udjela obnovljivih izvora energije u energetskoj bilanci,
- stabiliziranja uvjete na tržištu građevinskih materijala (šljunak, pijesak),
- povećavanja vrijednosti zemljišta uz Savu,
- ostvarivanja novih površina za izgradnju i otvaranja novih mogućnosti za urbanistički i prometni razvitak,
- otvaranja mogućnosti za razvoj športa, rekreacije i turizma na uređenim obalama Save i na stajaćim vodama u zaobalju,
- otvaranja novih mogućnosti u razvoju poljoprivredne proizvodnje i razvoju ribogojstva,
- otvaranja mogućnosti očuvanja i obnove prirodnih vrijednosti na Savi i u zaobalju (izvorište Odre),
- poboljšavanja prometnih veza području Grada Zagreba i Zagrebačke županije korištenjem mostova na branama za javni promet,
- otvaranja novih radnih mjesta i omogućavanja zapošljavanja hrvatskih tvrtki u izgradnji i opremanju planiranih zahvata,
- otvaranja mogućnosti zajedničkog uređenja i korištenja Save s Republikom Slovenijom,
- poboljšavanja stanja u okolišu i zdravlje stanovništva,

nameće potrebu učešća i drugih korisnika ovog sustava u ukupnoj investiciji, jer bez toga nema niti njegove realizacije. Ukratko, zajedničkim nastupom svi korisnici sustava postižu svoje ciljeve, a bez zajedničkog učešća u investiciji svi ostaju prikraćeni za moguće koristi.

Provedene analize ovakvog cjelovitog sustava u navedenoj studiji pokazale su da on osigurava održivi razvoj, da predstavlja u tehničkom pogledu ostvarivo rješenje, te da je s gospodarskog stanovišta opravdani pothvat (ekonomska stopa prinosa 14%). Neposredne interese za izgradnju sustava, obzirom na ciljeve koji se njime ostvaruju, imaju najmanje ovi njegovi korisnici: Republika Hrvatska, Zagrebačka županija i Grad Zagreb, javna i komunalna poduzeća, te vodoprivreda i elektroprivreda.

Istu sudbinu doživljava i višenamjenski hidrotehnički sustav Osijek koji se predviđa na potezu rijeke Drave uzvodno od Osijeka do granice s Mađarskom. Ovim sustavom se uz vodnogospodarske zadaće (povećanje sigurnosti obrane od poplava, regulacija vodotoka i odvodnja zaobalja) i proizvodnju električne energije od oko 0,24 TWh godišnje, predviđa bitno promijeniti sustav vodoopskrbe regije, osigurati bolje plovidbene uvjete rijekom Dravom do Donjeg Miholjca u svim hidrološkim uvjetima (čime se otvara mogućnost razvoja luke u Belišću i otvaranje nove međunarodne luke u Donjem Miholjcu), povećati sigurnost rada sustava navodnjavanja na oko 60.000 ha, povećati prihode od ribogojstva i ribarstva te omogućiti izgradnju turističkih i športsko-rekreacijskih sadržaja. Usprkos visokim troškovima uspostave višenamjenskih elemenata sustava, zaštite prirodnih vrijednosti prostora i poboljšanja komunalne infrastrukture u naseljima uz sami zahvat, ekonomske su analize pokazale opravdanost i dugoročnu održivost poduhvata (ekonomska stopa prinosa oko 6%).

Kanal Dunav-Sava nakon više desetljeća osmišljavanja ušao je u fazu pripremnih radova, pri čemu su njegovoj prometnoj funkciji pridodane uloge u poboljšanju uvjeta proizvodnje hrane (sustavi navodnjavanja), u poboljšanju uvjeta vodoopskrbe i u stvaranju uvjeta za razvoj turizma i rekreacije. Osmišljene su i njegove dodatne uloge u poboljšanju ekologije šuma i voda i zaštiti voda, te u stvaranju niza indirektnih koristi za lokalnu i širu zajednicu (zapošljavanje, povećanje vrijednosti zemljišta, poboljšanje komunalne infrastrukture, zdravlja i educiranosti stanovništva. Sagledavanjem indirektnih i mogućih koristi iz područja prometa i razvoja pratećih strateških djelatnosti također se povećava opravdanost ovog zahvata, unatoč značajnim ulaganjima. Ekonomske analize provedene u nekoliko navrata sve su pokazale dugoročnu održivost i isplativost ovog poduhvata (ekonomska stopa prinosa kreće se u rasponu od 8 do 14%).

3. MOGUĆI IZVORI FINANCIRANJA

Projekti koji se pokažu društveno opravdanim za realizaciju, te prema ekonomskim pokazateljima najbolje rangiranim, još uvijek ne znači i da su provedivi, jer je prije ulaska u takve poduhvate potrebno znati koji su izvori novčanih sredstava za njihovu provedbu.

Pripremivši ozbiljno i profesionalno projekte prepoznate i osmišljene kao bitna područja za ostvarivanje vlastitog koncepta razvoja, Republika Hrvatska mora potražiti partnere za njihovo financiranje, a time i ostvarenje. Moguće adrese su:

a) Vlastiti (preostali) izvori akumulacije u okviru pojedinih organiziranih sustava, gdje se prikupljaju sredstva za održavanje i razvoj pojedinih vitalnih segmenata javne infrastrukture. Upravljanje ukupnom imovinom javnog sektora često nije stavljeno u funkciju razvoja ukupnog društva, te predstavlja neiskorišteni kapital koji bi se uz pažljive analize i uz kontrolu mogao realizirati i za pokretanje novog investicijskog ciklusa.
b) Regionalna i kohezijska politika EU koja se ostvaruje kroz EU fondove, odnosno kroz strukturne i kohezijske fondove, te aktualno i predpristupni fondovi IPA.
c) Međunarodne financijske institucije gdje se prvenstveno misli na krug banaka na razini Europe i EU (EBRD, EIB) koje su u svojem djelovanju okrenute sufinanciranju razvojnih projekata ove vrste, te na korištenje sredstava Svjetske banke i za to specijaliziranih partnerskih adresa (IBRD, IFC, UNDP) kojima je također bitna komponenta djelovanja ulagati u područja održivog razvoja.

4. UVJETI ZA USPJEŠNU PROVEDBU RAZVOJNIH PROJEKATA

4.1 Zakonska regulativa

Kako bi se ovakvi sustavi što bolje pripremili za pokretanje, nužno je osigurati i druge uvjete značajne za njihov razvoj, a koji su vezani uz pozicioniranje zahvata u prostoru, odnosno uz usklađivanje zahvata s prostornim uvjetima, uz rješavanje imovinsko-pravnih i koncesijskih odnosa, te uz uvjete ishođenja lokacijskih dozvola. Uz ove aspekte treba uzeti u obzir i zakonske aspekte kojima se osigurava kvaliteta njihove realizacije, a posebno u smislu osiguranja kvalitete pripreme i vođenja projekta, kvalitete radova i opreme, te sustava nadzora, jer o tome također u velikoj mjeri ovisi uspješnost provedbe ovakvih projekata.

4.1.1 Prostorni uvjeti

Visoko razvijena i dobro organizirana društva nastoje kod osmišljavanja sustava zaštite prirode usvojiti takva prostorna ograničenja i uvjete zaštite koja neće smetati kapitalnim investicijama i gospodarskom razvoju, pod uvjetom njihovog uklapanja u preuzete međunarodne obveze i postizanja optimalne razine ulaganja za dobivanje maksimalne razine zaštite i sigurnosti. Tako se npr. relativno male površine teritorija razvijenih država stavljaju pod institucionalnu zaštitu (zaštićena prirodna i kulturna baština, zaštićeni izvori pitke vode), ali su s druge strane države tako organizirane da aktivno sudjeluju u razvoju naselja i gospodarskih subjekata u smislu zaštite okoliša i zatim kontinuirano nadziru provedbu propisanih mjera. Razlog tome je smanjivanje izravne odgovornosti države za očuvanje okoliša i prirode i prenošenje tih obveza na gospodarstvo i lokalne zajednice, ali na način da su one usklađene sa strateškim ciljevima zaštite prostora, a njihova provedba strogo nadzirana i u slučaju nepoštivanja zadanih uvjeta strogo kažnjavana. Pri tome su razina demokratskog razvoja i organiziranosti javnih institucija najčešće obrnuto proporcionalni površinama koje se stavljaju pod zaštitu, što je vidljivo i iz primjera tzv. nacionalnih ekoloških mreža u zemljama EU, pri čemu stare članice EU15 imaju manje površine pod zaštitom u odnosu na nove članice EU12 (Tablica 1).

Hrvatska se po veličini obvezujuće zaštićenih područja na oko 9% svog teritorija (ukupno 10 nacionalnih parkova i 12 parkova prirode) nalazi u europskom prosjeku, ali po veličini područja stavljenog pod posebnu zaštitu (područja tzv. nacionalne ekološke mreže, koja ulaskom u EU postaje tzv. Natura 2000) na oko 45% ukupnog kopnenog teritorija daleko nadmašuje bilo koju od zemalja članica EU. Činjenica je kako bi si specifičnim pristupom kod određivanja područja posebne zaštite Republika Hrvatska ulaskom u EU mogla stvoriti višestruke troškove:

- kroz obveze ne samo u nadzoru tako zaštićenog prostora, već i u njegovom očuvanju (preko visokih troškova provedbe raznih zaštitnih mjera, izgradnje zaštitnih sustava i revitalizacije ugroženih staništa),
- kroz obveze u nadoknadi izgubljene vrijednosti nekretnina vlasnicima na tim područjima zbog smanjene mogućnosti njihovog korištenja,
- kroz probleme složenih procedura naknadnog usklađivanja zaštite prostora s izgradnjom javne infrastrukture i kapitalnih projekata od nacionalnog interesa.

zaštite prirode

	KOPNENO PODRUČJE					MORSKO PODRUČJE			UKUPNO	
	POVRŠINA TERITORIJA $F_{NAC.}$	NATURA 2000 F_{K-2000}	$F_{K-2000}/F_{NAC.}$	Preklapanje SPA i SCI	Preklapanje SPA i SCI	NATURA 2000 F_{M-2000}	Preklapanje SPA i SCI	Preklapanje SPA i SCI	BROJ MJESTA	NATURA 2000 F_{U-2000}
	(km^2)	(km^2)	%	(km^2)	%	(km^2)	(km^2)	%		(km^2)
EU15	3.205.960	514.559	16,05	103.952	22,20	112.085	36.386	32,46	20.253	626.780
EU12	1.084.168	214.696	19,80	60.765	28,30	17.876	5.203	29,11	4.578	231.592
EU27	4.290.148	729.429	17,00	164.930	22,59	129.982	41.590	32,00	24.831	859.411
HRVATSKA	56.594	25.373	44,83	7.527	29,84	12.107	5.736	47,38	1.137	37.480

SCI (Sites of Community Interest)…područja obvezujućeg statusa zaštite (nacionalni parkovi, parkovi prirode…)
SPA (Special Protection Areas)…područja posebne zaštite (nacionalna ekološka mreža)

Tablica 1: Udio površina nacionalnih teritorija zemalja EU stavljenih pod neki od oblika zaštite prirode

Postojeća praksa daje opravdani razlog za brigu kako će zaštita prostora u budućnosti najviše utjecati na pripreme javnih zahvata i kapitalnih nacionalnih projekata, kako u

smislu trajanja i složenosti postupaka procjene njihovog utjecaja na okoliš i prirodu, tako i u smislu rizika po uspješnost dovršenja tih postupaka. U tom se smislu predlaže:

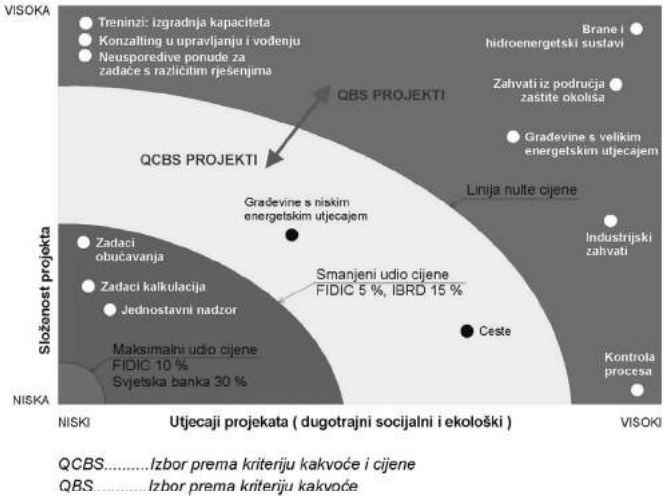
- uskladiti po posebnom postupku u međuvremenu usvojene prostorne planove nižeg reda sa Strategijom i Programom prostornog uređenja Republike Hrvatske ukoliko su u njima izostavljeni predviđeni strateški koridori i lokacije infrastrukturnih i sličnih zahvata od javnog interesa,
- uskladiti prijedlog Nacionalne ekološke mreže, prije nego ona postane mreža Natura 2000, s u Strategiji i Programu prostornog uređenja Republike Hrvatske predviđenim strateškim koridorima i lokacijama infrastrukturnih i sličnih zahvata od javnog interesa.

Također se smatra opravdanim određene višenamjenske projekte proglasiti projektima od javnog interesa za našu državu. Proglašenjem višenamjenskih projekata projektima od javnog interesa stvoriti će se također zakonska osnova za brzo i sigurno rješavanje imovinsko-pravnih odnosa na lokacijama samih zahvata.

Na kraju, a s obzirom na značaj višenamjenskih projekata za dugoročni razvoj Republike Hrvatske i s obzirom na očekivano učešće države u njihovoj pripremi opravdano bi bilo, ali isključivo za takve zahvate, produžiti zakonske rokove u kojima vrijede zaključci o provedenim postupcima o ocjeni utjecaja takvih zahvata na okoliš i prirodu i zakonske rokove u kojima vrijede lokacijske dozvole.

4.1.2 Osiguranje kakvoće pripreme projekata

Kakvoća pripreme studijsko-projektne dokumentacije značajan je preduvjet za provedbu razvojnih projekata kao što su višenamjenski hidrotehnički sustavi. Zato se njihova izrada treba u načelu povjeriti najboljim i najiskusnijim projektantima, s dobrim i potvrđenim



Izvor: BIMILACI 2001 Report; The 2001 Biennial Meeting between International Lending Agencies and the Consulting Industry (BIMILACI) was held at the World Bank, Washington DC, USA, on 17-18 May

Slika 1: Dijagram uvjeta za izbor ponuditelja intelektualnih usluga

referencama, s primjerenim potencijalom raspoloživih stručnjaka traženih specijalističkih znanja i vještina, te s dobrom organizacijskom i materijalnom podrškom.

Zato se predlaže tvrtke za pripremu studijsko-projektne dokumentacije vezane uz ovakve sustave tražiti preko javnih nadmetanja za usluge prema kriterijima Svjetske banke i FIDIC-a koji su se pokazali najboljima u području javnih nabava intelektualnih usluga (u ovom slučaju za projektiranje, konzalting i nadzor). Prema tim kriterijima cijene usluga kod izbora najboljih ponuditelja morale bi imati minimalnu ulogu, a kod složenih projekata taj bi kriterij cijene trebao biti i potpuno izostavljen (slika 1), npr. na način da se već u samim uvjetima nadmetanja odrede raspoloživa sredstva za navedenu uslugu.

4.2 Upravljanje provedbom i praćenje provedbe projekata

Za uspješnu provedu projekata ovog tipa potrebno je također:

- odrediti nositelja projekata,
- predvidjeti način nadgledanja njegove provedbe,
- postaviti organizacijsku shemu provedbe, uključujući i administrativnu podršku.

Nositelji pojedinih infrastrukturnih projekata, kao i višenamjenskih sustava, ovisno o njihovom karakteru, opsegu, planiranim resursima, prožimanju, odnosno utjecaju na okoliš mogu biti, ali ne isključivo:

- Javno poduzeće u 100% državnom vlasništvu,
- (Javno) poduzeće u mješovitom vlasništvu države i lokalne samouprave,
- Javno-javno-partnerstvo ili Javno-privatno-partnerstvo, gdje je nositelj projekta jedan od partnera,
- Privatna tvrtka.

Za nositelja projekata treba odrediti njegove obveze, te razraditi pravila/način i sadržaj njegovog djelovanja (aktivnosti kao zadaće raspoređene kroz vrijeme, trajanje i redoslijed aktivnosti, nadležnosti za njihovu provedbu i potrebnu raspoloživost resursa (ljudskih i materijalnih)).

Posebno je potrebno razraditi uvjete praćenja provedbe projekata (praćenje provedbe zadanog opsega, postizanja zadanih ciljeva, trošenja resursa) koji mora biti u nadležnosti tijela neovisnog o nositelju zahvata.

Posebno treba razraditi upravljanje projektima, kako sa stručnog, tako i s financijskog i vremenskog aspekta.

Za uspješnost pripreme i provedbe projekata nužno je i neophodno upravljanje projektom postaviti u skladu s najvišim zahtjevima. Upravljanje projektom, kao fundamentalna aktivnost provedbe projekta, prije svega je upravljanje rizicima projekta, gdje se mora trajno i kontinuirano kontrolirati djelovanje projektnih timova, izdašnost raspoloživih i pristupačnih resursa, te promjene u okolini projekta. Poslovi upravljanja projektom su u osnovi, ali ne isključivo:

- organizacija pribavljanja prethodnih i aktualnih informacija,
- organizacija izrade projektnih zadataka,
- provjera kompletnosti i dorečenosti projektnih rješenja,
- kontrola projektnih procesa,

- potpora sustava nabave,
- upravljanje troškovima,
- ishođenje dozvola,
- obračuni usluga i radova,
- izvještavanje o provedbi projekta.

4.3 Edukacija

Čak i uz rješenja za sve prethodno razmatrane provedbene uvjete, ovakvi poduhvati moraju u obzir uzeti još jedan važan preduvjet za uspješnu provedbu: raspoloživost stručnog i motiviranog kadra koji bi vodio njihovu realizaciju. Posebno je u slučaju ovih projekata važan stručni profil graditeljske struke, kakav se u načelu i školuje u našim visokoškolskim ustanovama.

Međutim, osim strukovnih znanja za ovakve će projekte od posebnog značaja biti i neka specifična znanja iz područja ekonomije, prava, zaštite okoliša i pojedinih drugih tehničkih struka. Zato se u vrijeme pokretanja projekata mora raditi u timovima stručnjaka različitih specijalnosti, te istovremeno, kroz dodatno školovanje, kroz uvođenje novih predmeta na pojedinim visokoškolskim obrazovnim institucijama i kroz kontinuirano obrazovanje iskusnih stručnjaka, povećavati brojnost kadrova sposobnih za vođenje složenih projekata (od izrade projektne dokumentacije do nadzora i izvođenja).

Pri tome je od posebnog značaja i predstavlja apsolutni prioritet značajno povećanje educiranih stručnjaka koji su u mogućnosti voditi pripremu i aplikaciju projekata za fondove EU, te za pristup povoljnim kreditima razvojnih banaka.

ZAKLJUČAK

Izradu dokumentacije do razine potrebne za ishođenje lokacijskih dozvola i izradu studija izvedivosti treba financirati iz javnih izvora. Država u tim projektima mora prepoznati i jasno definirati i svoje interese, ne samo kako bi se odlučila za modele njihova financiranja, nego i radi ocjene potrebe svojeg daljnjeg udjela u investiciji, osobito što se ostvarenjem takvih projekata stvaraju za državu značajne dodatne koristi: otvaranje novih radnih mjesta, povećanje vrijednosti prostora, povećanje poreznih prihoda.

Potrebno je razmotriti moguće intervencije u nacionalno zakonodavstvu kojim se reguliraju prostorni odnosi, zaštita okoliša i zaštita prirode kako bi se uklonila neka vrlo stroga prostorna ograničenja vezana za složene zahvate i sustave koja se ne primjenjuju ni u zemljama EU-a.

Također se predlaže razmotriti i usvojiti iskustva zemalja u okruženju koje su slične programe realizirale nakon donošenja posebnih zakona.

LITERATURA

[1] L. Douglas James & Robert R. Lee: Economics of Water Resources Planning, Mc-Graw-Hill Book Company, 1971.

[2] Alvin S. Goodman: Principles of Water Resources Planning, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey,1984.

[3] E. Kuiper: Water Resources Project Economics, Butterworth&Co, London, 1971

[4] E.S. Goodstein: Ekonomika i okoliš, Drugo izdanje, Mate, Zagreb, 1999.

[5] Paul L. Samuelson, William D. Nordhaus: Ekonomija, Petnaesto izdanje, Mate (McGraw-Hill), 2000.

[6] E.B. Barbier, M. Acreman & D. Knowler: Economic Valuation of Wetlands: A Guide for Policy Makers and Planners, The Ramsar Library, Ramsar Convention Bureau, 1997. (Internet adresa: www.ramsar.org /lib_val_e_6.htm)

[7] A.P. Thirlwall: Growth and Development, Macmillan, 1993

[8] J. Loomis&G. Helfand: Environmental Policy Analysis for Decision Making, Kluwer Academic Publishers, 2001

[9] E. Helland-Hansen, T. Holtedahl, K. A. Lye: Hydropower Development, Vol. 3: Environmental Effects, Norwegian Institute of Technology, 1995.

[10] W.A. Hall&J.A. Dracup: Water Resources Systems Engineering, McGraw-Hill, 1970

[11] Chris Head: Financing of Private Hydropower Projects, World Bank Discussion Paper No. 420, 2000

[12] V.H. Heywood, R.T. Watson: Global Biodivesity Assessment, UNEP, Cambrige University Press, 1995

[13] H. Stretton, L. Orchard: Public Goods, Public Enterprise, Public Choice, MacMillan Press, 1994

[14] Randall J.F. Bruins& Matthew T. Heberling: Economics and Ecological Risk Assessment, Application to Watershed Management, CRC Press, 2005

[15] R.K. Linsley & J.B. Franzini: Water Resources Engineering, McGraw-Hill, 1979

[16] D. Feretić, Ž. Tomišić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić: Elektrane i okoliš, Element, Zagreb, 2000.

[17] D.J. Pannell, S.G.M. Schillizzi: Economics and the Future, Elgar Publishing Ltd., 2006

[18] D.I.Trotman-Dickenson: Economics of the Public Sector, MacMillan Press, 1996

[19] Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects ("Green Book"), US Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Evaluation Standards, 1958

[20] Studija utjecaja na okoliš Višenamjenskog kanala „Dunav-Sava", Elektroprojekt, 2008.

[21] Studija opravdanosti i izvodljivosti Višenamjenskog hidrotehničkog sustava „Osijek“, Elektroprojekt, 2007.

[22] Prethodna studija izvodljivosti uređenja i korištenja rijeke Save od granice s R. Slovenijom do Rugvice, Elektroprojekt, 2003.

[23] Studija opravdanosti izgradnje višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Ekonomska i financijska evaluacija projekta, CM Expert, 2006.

[24] Program razvojnih projekata R. Hrvatske, HKIG, 2010.

AUTORI

Željko Pavlin dipl. ing. građ. [a]

mr. sc. Zlatko Pletikapić dipl. ing. građ. [b]

[a] Elektroprojekt, Alexandera Von Humboldta 4, Zagreb, Hrvatska, zeljko.pavlin@elektroprojekt.hr

[b] Elektroprojekt, Alexandera Von Humboldta 4, Zagreb, Hrvatska, zlatko.pletikapic@elektroprojekt.hr

R 2.02.

VIŠENAMJENSKI SUSTAVI U VODNOM GOSPODARSTVU - ODGOVOR NA KLIMATSKE PROMJENE

Zoran Đuroković, Silvio Brezak, Silvija Sitar, Nives Brnić-Levada

SAŽETAK: Prirodne nepogode uzrokovane poplavama i sušama ukazuju na nužnost ulaganja u izgradnju vodnih građevina koje je potrebno planirati kao višenamjenske sustave, odnosno istovremeno ih koristiti za potrebe obrane od poplava, vodoopskrbe, navodnjavanja, korištenja voda za tehnološke potrebe i uzgoj riba te šport i rekreaciju. Ujedno takvim načinom upravljanja vodama moguće je postizanje dobrog ekološkog stanja voda i u ekstremnim hidrološkim prilikama. Izgradnjom višenamjenskih sustava u vodnom gospodarstvu moguće je doprinijeti smanjivanju negativnih utjecaja klimatskih promjena na vodni režim. U radu se opisuju planirani višenamjenski sustavi na malim slivovima vodnog područja rijeke Dunav: projekt izgradnje lateralnog kanala Kneževi Vinogradi - Zmajevac na području malog sliva „Baranja“; projekt vodnogospodarskog uređenja i višenamjenskog korištenja ritova na području Općina Lovas i Tompojevci na području malog sliva „Vuka“; projekt uređenja vodnog režima sliva rijeke Karašice za potrebe višenamjenskog korištenja na području malog sliva „Karašica-Vučica“; projekt uređenja vodnog režima sliva Oađenica za potrebe obrane od poplava i višenamjenskog korištenja na području malog sliva „Županijski kanal“, kao i projekti izgradnje višenamjenskih akumulacija na malim slivovima.

KLJUČNE RIJEČI: vodno područje rijeke Dunav, mali slivovi, oborine, poplave, suše, višenamjenski sustavi

MULTIPURPOSE SYSTEMS IN WATER MANAGEMENT - RESPONSE TO CLIMATE CHANGES

SUMMARY: Natural disasters caused by floods and droughts show the necessity of investing in the construction of water structures that should be planned as multipurpose systems, which means to use them for purposes of flood protection, water supply, irrigation, water use for technological purposes, fish farming and sport and recreation as well. At the same time, this water management approach makes possible to achieve good ecological status of water in extreme hydrological conditions. The construction of multipurpose water management systems can contribute reducing the negative impacts of climate change on water regime. In this paper the planned multipurpose systems for small basins of the Danube River are described: the project of building lateral canal Kneževi Vinogradi-

Zmajevac in the “Baranja” small basin; the project of water management development and multipurpose use of Wetlands in the Municipality of Lovas and Tompojevci in the “Vuka” small basin; the project of the water regime regulation of the River Karašica basin for multipurpose use in the “Karašica-Vučica” small basin; the project of the water regime regulation of the Ođenica basin for flood protection purposes and multipurpose use in the “Županijski kanal” small basin, and projects of construction of multipurpose reservoirs on a small basins as well.

KEY WORDS: Danube River Basin District, small basins, rainfall, floods, droughts, multipurpose systems

1. UVOD

Uočene klimatske promjene imaju za posljedicu pojavu ekstremnih hidroloških prilika. U posljednjem desetljeću, na vodnom području rijeke Dunav u Republici Hrvatskoj učestala je pojava hidroloških ekstrema, suša iz 2000. i 2003. godine te poplava iz 2002., 2004., 2006., 2009. i 2010. godine.

Za razliku od prijašnjih godina, poplava u proljeće 2010. godine na vodnom području slivova Drave i Dunava bila je po mnogočemu specifična. Zbog obilnih kiša na većem broju malih slivova istovremeno su se pojavila plavljenja ravničarskih poljoprivrednih površina, a bujične vode na brdskom dijelu sliva zaprijetile su brojnim naseljima. Ubrzo bilo je nužno provoditi obranu od poplava i na velikim rijekama Dravi i Dunavu.

Ukupna količina oborina koja je u tri dana premašila 200 mm uzrokovala je velike štete na poljoprivrednim kulturama. Takvu ekstremnu količinu oborina kanalska mreža unatoč zadovoljavajućem stupnju uređenosti nije mogla prihvatiti. Visoki intenzitet oborina na pojedinim malim slivovoma uzrokovao je premašivanje do sada zabilježenih maksimalnih vodostaja na većem broju vodotoka Vuka, Iskrica, Voćinska rijeka, Marjanac, Baranjska Karašica i dr.

Uslijed najave globalnih klimatskih promjena i ekstremnih hidroloških prilika moguće je u budućnosti očekivati učestaliju pojavu velikih količina oborina u kratkom razdoblju koje uzrokuju poplave, ali i izostanak oborina u dužem vremenskom razdoblju što uzrokuje suše. Pojava bilo kojeg hidrološkog ekstrema, poplava ili suše, mogu imati za posljedicu velike štete na svim područjima ljudskog djelovanja.

Hrvatske vode na slivnom području rijeke Dunav u Republici Hrvatskoj pokrenule su brojne aktivnosti koji po realizaciji osiguravaju upravljanje vodnim režimom na malim slivovima, a time bi se potpuno izbjegle ili smanjile na prihvatljivu mjeru negativne posljedice ekstremnih hidroloških prilika. Upravljanje vodama planira se putem budućih višenamjenskih vodnogospodarskih sustava od kojih su najznačajniji izgradnja lateralnog kanala „Kneževi Vinogradi - Zmajevac“, objekti na slivovima rijeka Karašice i Ođenice, te na području Općina Lovas i Tompojevci i izgradnja više akumulacija u brdskim dijelovima slivova vodotoka.

2. VIŠENAMJENSKI SUSTAVI NA PODRUČJIMA MALIH SLIVOVA

2.1. Područje malog sliva „Baranja“

Problem sadašnjeg stanja uređenosti i korištenja zemljišta i voda u brdskom dijelu područja malog sliva „Baranja“, prisutnost je površinske i dubinske erozije koja, ne samo da šteti ovom brdskom dijelu područja, već i melioracijskim površinama ispod jer erodirani materijal nošen bujičnim tokovima dospijeva u melioracijske kanale.

S druge strane, u melioracijskom području Dunavski rit, problem je opterećenosti vodom odvodnog sustava, a koja dobrim djelom u melioracijsko područje dospijeva s južnih obronaka Baranjske planine.

Osim navedenog, javlja se i potreba navodnjavanja poljoprivrednih površina. Iako na području malog sliva „Baranja“ ima priličan broj raspoloživih vodnih resursa s dovoljnim količinama vode, lokacije područja s potrebom za navodnjavanje su od izvorišta prilično udaljene. Druga nepovoljnost su topografske karakteristike terena u odnosu na vodne resurse.Karakteristično je uzdizanje terena idući od Drave i Dunava prema unutrašnjosti. Time je naglašeno da su mogućnosti primjene gravitacijskog dovoda vode u područje ograničene, što nameće potrebu primjene i tlačnih sustava. Pojavljuje se, međutim, problem ekonomske opravdanosti pokrivanja cijelog područja tlačnim sustavima pa je potrebno stvoriti isplativiji sustav koji bi bio kombinacija tlačnog i gravitacijskog tečenja.

Zbog svega navedenog, kao i zbog potrebe zaustavljanja nekontroliranog razlijevanja brdskih voda, aktualizirana je ranija ideja o izgradnji lateralnog kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac (Slika 1.) koji bi uz prihvat i odvodnju voda brdskog dijela sliva Baranje i rasterećenje melioracijskog područja dunavskog sektora, imao i ulogu glavnog dovoda i retencije vode za navodnjavanje.

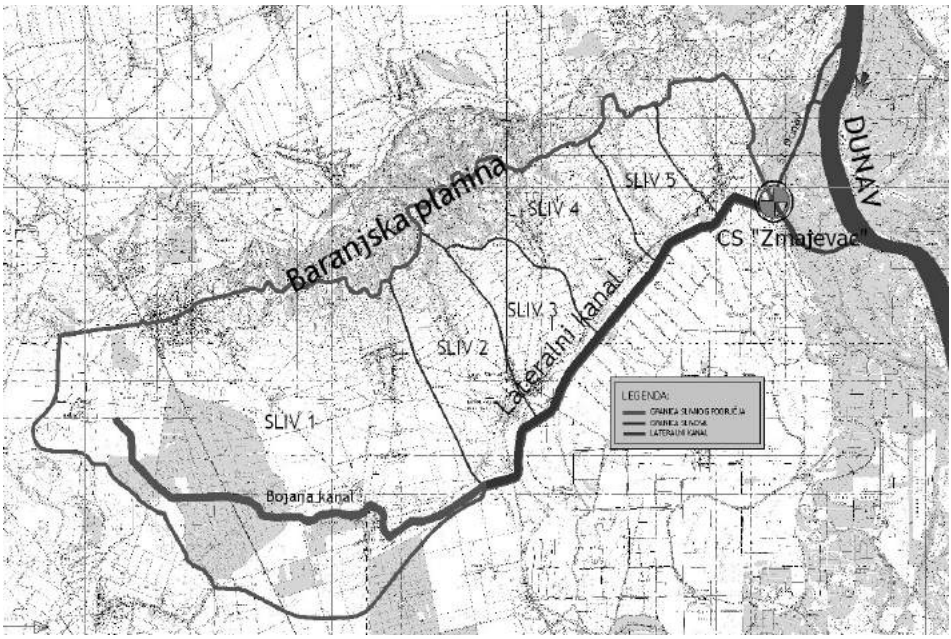
Osnova ovog sustava je dvonamjensko korištenje predviđenog lateralnog kanala koji bi, uz izgradnju reverzibilne crpne stanice na njegovom početku – na dunavskom nasipu Zmajevac - Kopačevo sa zahvatom vode iz Zmajevačkog Dunavca, služio kao glavni tranzitni vod za odvodnju i navodnjavanje dunavskog sektora. Zmajevački Dunavac, na kojem je predviđen vodozahvat, jedan je od bivših rukavaca Dunava i sada je povezan s rijekom.

Trasa kanala položena je sjeverno od bivše željezničke pruge Kneževi Vinogradi - Zmajevac, s početkom oko prvog kilometra glavnog obrambenog dunavskog nasipa Zmajevac - Kopačevo, a krajem bi se trebao spojiti s postojećim glavnim odvodnim kanalom centralnog povišenog platoa (kanal Bojana), podno Kneževih Vinograda. U tu svrhu nužno je probiti visoku gredu u duljini od 1 km zapadno od ceste Bilje - Kneževi Vinogradi–Zmajevac, do kuda se trasa lateralnog kanala, u duljini od oko 2,5 km, treba poklapati s trasom dijela Glavnog Jasenovačkog kanala.

U sadašnjim uvjetima učestala su plavljenja velikih poljoprivrednih površina na predmetnom području uslijed nemogućnosti evakuacije velikih oborinskih voda koje se slijevaju sa Baranjske planine. U prethodnom razdoblju, a posebno tijekom 2010. godine uslijed velikih količina oborina i nemogućnosti kvalitetne odvodnje došlo je do plavljenja više tisuća hektara poljoprivrednih površina i nastanka višemilijunskih šteta na poljoprivrednim kulturama.

Gradnjom lateralnog kanala ukupne dužine 12,3 km sa crpnom stanicom Zmajevac kapaciteta 5 m3/s, omogućiti će se kvalitetnija melioracijska odvodnja na više od 10.000

hektara poljoprivrednog zemljišta uz istovremeno omogućavanje razvoja navodnjavanja na 5.000 hektara poljoprivrednog zemljišta prema Nacionalnom programu navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV). Južno od trase lateralnog kanala predviđena je izgradnja državne ceste D-212 koja spaja trasu budućeg koridora Vc s graničnim prijelazom Batina. Projekti ceste i lateralnog kanala (Institut IGH d.d., 2007./2008.) su međusobno usklađeni na način da trase idu paralelno, južno od naselja Kneževi Vinogradi, Suza i Zmajevac, a u sklopu projekta lateralnog kanala planirana je izgradnja mostova koji će omogućiti prometnu komunikaciju svakog pojedinog naselja s budućom državnom cestom.



Slika 1. lateralni kanal Kneževi Vinogradi-Zmajevac

2.2. Područje malog sliva „Vuka“

Na području malog sliva „Vuka” u Općinama Lovas i Tompojevci nalaze se ritovi vodnog sustava Savak (Slika 2.). Površinu sliva sustava Savak čini blago valovita terasa ispresijecana depresijama (ritovima) nepravilnog oblika koje gravitiraju prema jugozapadu, gdje se spajaju sjeverno iznad sela Berak i formiraju vodotok Savak.

Ritove karatkterizira reljef područja s kotama terena u depresijama od 90,0-110,0 m n.m. Prosječna dubina doline ritova u odnosu na okolni teren iznosi 10-14 m, a širina doline u obodnom dijelu sliva 100-200 m, a u srednjem 200-300 m. Ukupna dužina ritova na području općine Tompojevci je približno 50 km, a površina 700 ha.

Projekt obnove i revitalizacije ritova u slivu vodnog sustava Savak je višenamjenski razvojni vodnogospodarski projekt. Cilj projekta je obnova i revitalizacija ritova na vodnom sustavu Savak i njemu susjednim vodnim sustavima Boris, Bosut i Opatovac dopunja-

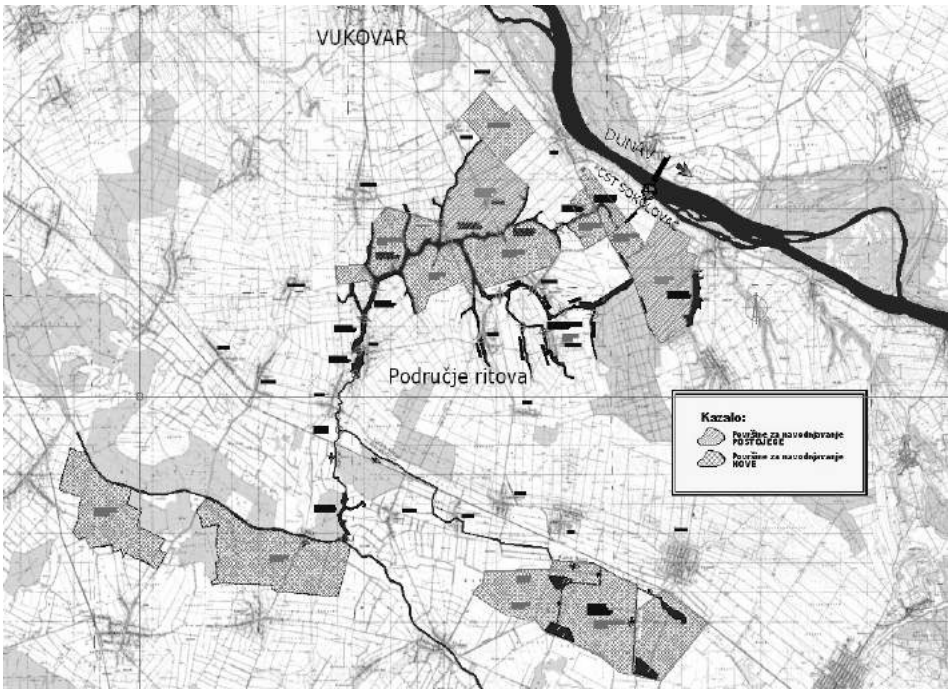
vanjem potrebnim količinama vode iz Dunava radi višenamjenskog korištenja prostora i zaštite prirodnih vrijednosti.

Namjeravani zahvat obuhvaća obnovu prirodnih retencija vraćanjem prirodnih uvjeta i biološke raznolikosti na područje u stanje s početka dvadesetog stoljeća, te stvaranjem preduvjeta za održivi razvoj lokalnih zajednica područja kroz okolišno prihvatljive i dugoročno održive djelatnosti. Osiguranje dovoljnih količina vode, njenog akumuliranja u ritovima kao i kontroliranje njenog tečenja izvršit će se obnovom i dogradnjom postojećih, izgradnjom novih dolinskih brana, tehničkim uređenjem vodnog sustava, uređenjem i revitalizacijom pripadajućih izvora, te izgradnjom vodozahvata Sokolovac na r. Dunav i dovodnih tlačnih cjevovoda, čime bi uz očuvanje biološke raznolikosti, nastali uvjeti za razvoj poljoprivredne i stočarske proizvodnje uz korištenje raspoloživih količina vode za potrebe navodnjavanja, kao i razvoj drugih turističko-gospodarskih djelatnosti (uzgoj riba, ribolovni i lovni turizam, itd.).

Iz navedenih razloga nužno je dovođenje dodatnih količina svježe dunavske vode (bogate kisikom i hranjivim tvarima) u sustav Savak izgradnjom crpne stanice Sokolovac na Dunavu na rkm 1318+400 čime će se omogućiti obnova zaliha vode u ritovima i postizanje dobrog stanja voda, uređenje i obnavljanje postojećih prirodnih izvora i vodnih tokova, unaprjeđenje sustava zaštite od štetnog djelovanja voda, osiguranje vode za navodnjavanje, ribnjačarstvo, ribolovni i lovni turizam, a ujedno i postizanje dobrog stanja voda za održivost ekosustava.

Namjeravani zahvat obuhvaća obnovu prirodnih retencija dogradnjom postojećih i izgradnjom novih dolinskih brana u ritovima Berak-1, Berak-2, Berak-3, Berak-4 i Đeletovci, nizvodno od akumulacije Grabovo i dolinskih brana Pavlovac i Sokolovac uzvodno od sjevernog kraka akumulacije Grabovo, te dovođenje potrebnih količina vode u vodni sustav Savak izgradnjom crpne stance na rijeci Dunav na rkm 1318+400 putem tlačnog cjevovoda do početka ritova i područja akumulacije Opatovac.

Također se planira uz uređenje i revitalizaciju postojećih izvora vode i uređenje vodnog sustava ritova uklanjanjem sedimenta u kineti povremenih vodotoka u dolinama ritova radi poboljšanja uvjeta tečenja i povećanja mogućnosti akumuliranja vode.



Slika 2. Revitalizacija područja ritova s prikazom površina za navodnjavanje

2.3. Područje malog sliva „Karašica-Vučica”

Sadašnje stanje uređenosti sliva rijeke Karašice i postojećeg vodnog režima na području malog sliva „Karašica-Vučica” nije zadovoljavajuće s gledišta obrane od poplava kao i očuvanja vodenog ekosustava na ruralnom poljoprivrednom području i urbanom području Gradova Valpova i Belišća.

Integralnim upravljanjem vodnim resursima rijeke Karašice uz provedbu hidrotehničkih zahvata treba osigurati povoljniji vodni režim i dobro ekološko stanje osobito malih voda, kao i dovoljne količine voda u donjem dijelu sliva Karašice za potrebe razvoja navodnjavanja i druge namjene, uz sagledavanje tehničkih i ekonomskih uvjeta, a posebno vodeći računa o očuvanju i unaprjeđenju ekološkog sustava sliva.

Izradom Studije uređenja vodnog režima sliva Karašice radi višenamjenskog korištenja (Elektroprojekt d.d., 2009.) utvrđena je opravdanost dovođenja voda rijeke Drave u sliv Karašice tijekom vegetacijskog razdoblja s ciljem osiguravanja dovoljnih količina vode u Karašici za potrebe navodnjavanja, uređenja njenog toka u urbaniziranim područjima i poboljšanja njenog ukupnog ekološkog stanja, s time što se takvim rješenjem ujedno omogućava unapređenje sustava obrane od poplava na slivu Karašice.

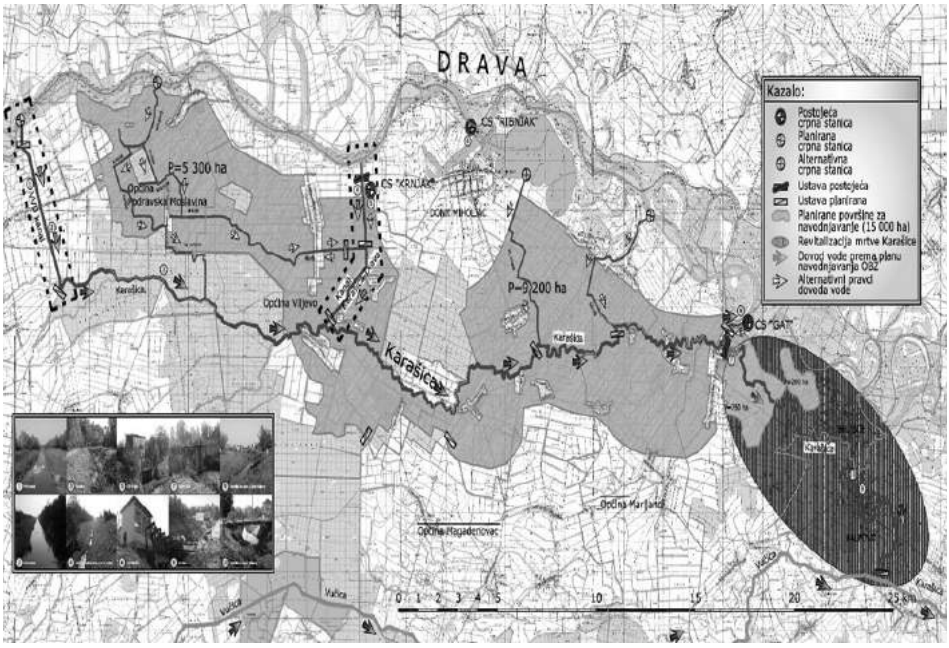
Prvi korak u provedbi rješenja je izgradnja novih zahvata i obnova/rekonstrukcija postojećih građevina na kanalu Karašica-Drava, na rijeci Karašici, Gatskom kanalu i na Donjoj/Staroj Karašici.

Sustav za upravljanje vodnim režimom čine: crpna stanica kapaciteta 18 m^3/s na ušću

kanala Karašica-Drava, crpna stanica kapaciteta 3 m^3/s na ušću kanala Vojlovica-Voćinka-Drava s mogućnošću proširenja, šest ustava za upravljanje vodnim režimom, izgradnja detaljnog hidrotehničkog sustava, uređenje postojeće kanalske mreže, uređenje zemljišta za potrebe navodnjavanja (Slika 3.).

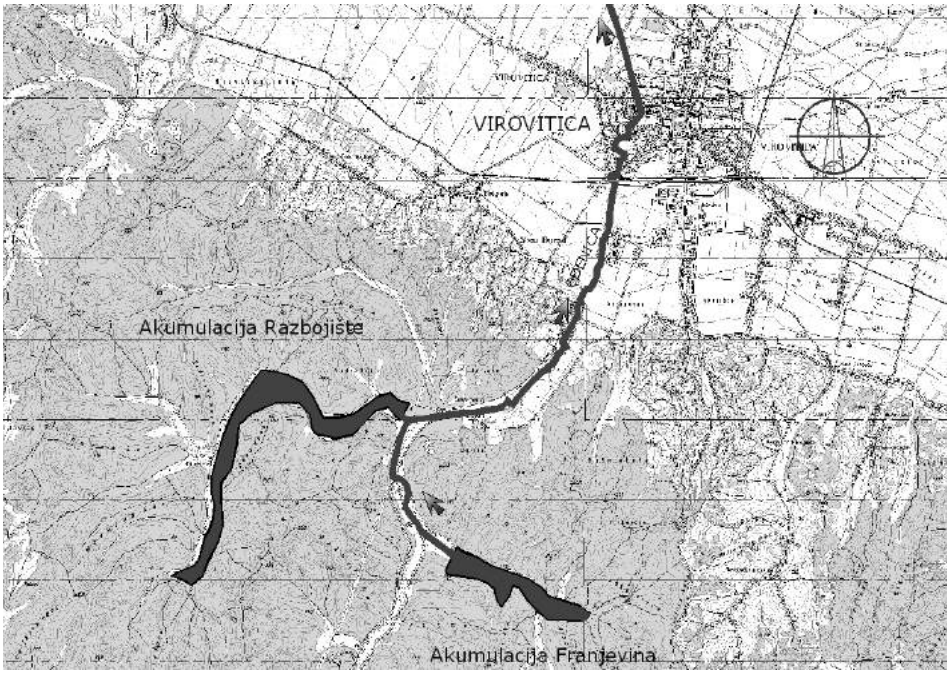
Ekološki efekt uređenja vodnog režima sliva Karašice čini revitalizacija 70 km vodotoka i obnova vodenih ekosustava, prihranjivanje i poboljšanje kakvoće podzemnih voda, stvaranje preduvjeta za ekološku poljoprivrednu proizvodnju, očuvanje postojećih šuma i povećanje krajobrazne vrijednosti uz rijeku Karašicu.

Sadašnje nepovoljno hidrološko stanje sliva Karašice upućuje na nužnost realizacije sustava Karašica-Drava. S obzirom na postojeću razvijenost hidrografske mreže sliva Karašice uz uvažavanje pozitivnih utjecaja na okoliš moguća je brza realizacija projekta.


DRAVA
Kazalo:
Postojeća crpna stanica
Planirana crpna stanica
Alternativna crpna stanica
Ustava postojeća
Ustava planirana
Planirane površine za navodnjavanje (15 000 ha)
Revitalizacija mrtve Karašice
Dovod vode prema planu navodnjavanja OB2
Alternativni pravci dovoda vode
CS "KRNJAK"
P=5 300 ha
Općina Podravski Sokolovac
Općina Virje
P=9 200 ha
Karašica
CS "GAT"
Općina Kapela
Općina Molve
Općina Đurđevac
Općina Kalinovac
Općina Hlebine
Općina Sokolovac
Općina Kloštar Podravski
Općina Legrad
Općina Peteranec
Općina Mičetinac
Općina Novigrad Podravski
Općina Gola
Općina Koprivnica
Općina Rasinja
Općina Đelekovec
Općina Sveti Ivan Žabno
Općina Hampovica
Općina Sveti Petar Orehovec
Općina Kalnik
Općina Križevci
Općina Gornja Rijeka
Općina Sveta Nedelja
Općina Sveti Ivan Zelina
Općina Bedenica
Općina Dubrava
Općina Marija Gorica
Općina Pisarovina
Općina Rugvica
Općina Farkaševac
Općina Velika Ludina
Općina Križ
Općina Jastrebarsko
Općina Klinča Sela
Općina Pokupsko
Općina Vrbovec
Općina Dugo Selo
Općina Rakovec
Općina Oroslavje
Općina Zlatar
Općina Zlatar Bistrica
Općina Krapinske Toplice
Općina Mihovljan
Općina Desinić
Općina Zabok
Općina Hrvatsko Zagorje Krapina
Općina Donja Stubica
Općina Stubičke Toplice
Općina Gornja Stubica

njem postojećih retencija Franjevina i Razbojište u akumulacije koje će spriječiti plavljenje rubnih dijelova grada Virovitice i dijela nizinskog sliva vodotoka Ođenica.

Rekonstrukcijom sustava obrane od poplava unaprijedit će se sustav obrane od poplava na slivu Ođenice, a ujedno će se osigurati dovoljne količine vode za potrebe navodnjavanja, ribnjačarstva, športa i rekreacije. Realizacijom akumulacija poboljšat će se upravljanje vodnim režimom, uredit će se donji tok Ođenice u urbanim područjima grada Virovitice i poboljšati ekološko stanje voda.



Slika 4. Akumulacije Razbojište i Franjevina

2.5. Projekti izgradnje višenamjenskih akumulacija na malim slivovima

Na slivu Drave i Dunava nizinsko plodno područje i nadalje ugrožavaju bujične vode koje se slijevaju s brdskih područja. Prethodno je izgradnjom sustava nasipa i višenamjenskih akumulacija na Dravi, plodna nizina uglavnom zaštićena od velikih voda rijeke Drave.

Planirana gradnja sustava za zaštitu od brdskih voda na ovom području sagledavana je kroz višenamjenska rješenja koja istovremeno sadržavaju ciljeve zaštite od štetnog djelovanja voda i optimalno korištenje voda za različite namjene. Utvrđena je nužnost izgradnje malih brdskih akumulacija i uređenja manjih vodotoka za potrebe obrane od poplava i zaštite od erozije, a ujedno vodnogospodarske aktivnosti mogu biti od velike koristi i za druge gospodarske i društvene namjene jer postoje prirodni uvjeti za njihovu izgradnju. Postojeće izgrađene brdske retencije i akumulacije pokazale su punu opravdanost u obrani od poplava, a pružaju i mogućnost višenamjenskog korištenja voda za vodopskrbu, navodnjavanje, ribnjačarstvo, sport i rekreaciju.

ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir prostornu raspodjelu planiranih projekata višenamjenskih sustava, oni zajedno predstavljaju integralno rješenje uređenja vodnih režima na svim malim slivovima koji pripadaju donjem dijelu vodnog područja rijeke Dunav u Republici Hrvatskoj.

Zajednička karakteristika svih projekata je da se dobro ekološko stanje voda na malim slivovima postiže zadržavanjem voda na slivu, kao i korištenjem praktično neograničenih vodnih resursa rijeka Drave i Dunava za vrijeme trajanja sušnih razdoblja uz istovremeno osiguranje dostatnih količina voda za razne druge gospodarske namjene. Realizacijom predmetnih projekata kroz izgradnju višenamjenskih vodnih građevina osigurava se visoki stupanj zaštite od poplava na većini područja malih slivova. Navedeni projekti višenamjenskih sustava u vodnom gospodarstvu omogućuju upravljanje vodnim režimom, odnosno osiguravaju ravnomjernu prostornu i vremensku raspodjelu vodnih količina te ujedno predstavljaju odgovor na moguće klimatske promjene i negativne posljedice ekstremnih hidroloških pojava. Doprinos vodnog gospodarstva kao odgovor na klimatske promjene je u planiranju i izgradnji višenamjenskih sustava kojima se omogućava upravljanje vodnim režimom i u uvjetima ekstremnih hidroloških prilika. Planirane projekte višenamjenskih sustava potrebno je kontinuirano graditi i po potrebi dograđivati kako bi se u budućnosti smanjio rizik stradanja ljudi i imovine te izbjegle moguće velike štete u poljoprivrednoj proizvodnji i gospodarstvu, pogotovo ukoliko se nastavi zabilježena učestalost pojave ekstremnih hidroloških prilika u posljednjem desetljeću.

LITERATURA

[1] Elektroprojekt d.d. Zagreb (2009.): Studija uređenja vodnog režima sliva rijeke Karašice za potrebe višenamjenskog korištenja i vodnogospodarskog uređenja

[2] Institut IGH d.d. Zagreb (2007./2008.): Glavni i izvedbeni projekt lateralnog kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac

[3] Drugi korišteni podaci i dokumentacija

AUTORI

Zoran Đuroković, dipl.ing.građ.[a]
Silvio Brezak, dipl.ing.građ.[b]
Silvija Sitar, dipl.ing.građ.[c]
Nives Brnić-Levada, dipl.ing.građ.[d]

[a] Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za vodno područje slivova Drave i Dunava, Splavarska 2a, Osijek, 31000, Hrvatska, *zoran.durokovic@voda.hr*

[b] Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za vodno područje slivova Drave i Dunava, Splavarska 2a, Osijek, 31000, Hrvatska, *silvio.brezak@voda.hr*

[c] Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za vodno područje slivova Drave i Dunava, Splavarska 2a, Osijek, 31000, Hrvatska, *silvija.sitar@voda.hr*

[d] Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za vodno područje slivova Drave i Dunava, Splavarska 2a, Osijek, 31000, Hrvatska, *nives.brnic-levada@voda.hr*

R 2.03.

MHE BRODARCI I OBRANA OD POPLAVA KARLOVCA

Boris Beraković, Eva Ocvirk, Irvin Ahatović

SAŽETAK: Prije četrdesetak godina zamišljeno je i započeto ostvarivanje rješenja obrane od poplava Srednjeg Posavlja. U radu se daje osvrt na sadašnje stanja izgrađenosti sustava obrane od poplava, te se ukazuje na mogućnosti primjene drugih rješenja u odnosu na ranije predložena u području čvora Brodarci. Razmatrana je mogućnost izgradnje male hidroelektrane (MHE) Brodarci uvažavajući postojeće stanje i potrebu povećanja stupnja korištenja izvedenog kanala Kupa – Kupa. Na osnovi postavljenih ciljeva predloženo je rješenje koje se može izvesti u razumnom roku.

KLJUČNE RIJEČI: obrana od poplava, odteretni kanal, mala hidroelektrana

MHE BRODARCI I OBRANA OD POPLAVA KARLOVCA

SUMMARY: The flood control measures of Srednje Posavlje (middle part of the Sava river) was concived and started to be realised forty years ago. This paper is an overview of the flood water control system and its current state of development. It also shows the possibility of applying different solutions than those previously proposed on location Brodarci. The new proposal includes building a small hydro power plant by which the utilization of the flood relief channel Kupa-Kupa is increased. Based on set goals, this proposed solution is one with the best chance to be realised in an comprehensible time frame.

KEY WORDS: flood protection, flood relief channel, small hydro power plant

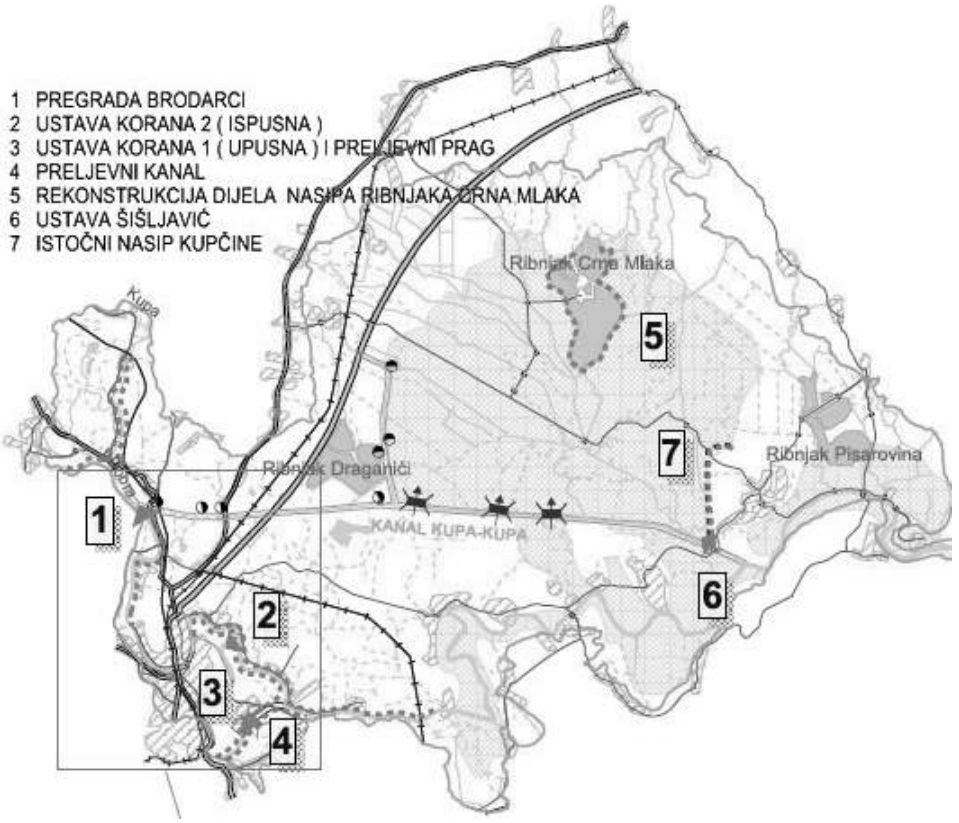
1. UVOD

Katastrofalne poplave gradova Zagreba (1964) i Karlovca (1966) potaknule su cjelovitije rješavanje obrane od poplava Srednjeg Posavlja obuhvaćajući područje Save od Slovenije do Nove Gradiške i Kupe od Ozlja do Pokupskog. Predloženo i usvojeno rješenje polazi od korištenja prirodnih retencija i provođenja velikih voda mimo ugroženih gradova. Rješenjem obrane od poplava Srednjeg Posavlja predviđeni su odteretni kanali (Odra kod Zagreba i Kupa-Kupa kod Karlovca), kontrolirane retencije, odgovarajući nasipi i kontrolne građevine. Studijom regulacije i uređenja rijeke Save u Jugoslaviji (Polytechna Hidroprojekt, Carlo Lotti, Prag – Rim, 1972. godine) rješenje je verificirano. Radovi koji su započeti na izgradnji I faze dovršeni su do 1980. godine i od tada osim održavanja nisu

uložena značajnija sredstva u sustav obrane od poplava tog područja. Izvedenom I fazom postignut je određeni stupanj zaštite gradova Zagreba, Karlovca i Siska od poplava, no nedovršeni sustav ne daje dovoljnu sigurnost a niti ne omogućuje prikladno upravljanje i korištenje voda rijeka Save i Kupe.

U sklopu projekta obrane od poplava Srednjeg Posavlja postavljeno je i rješenje obrane od poplava grada Karlovca. Tim rješenjem je predviđena izgradnja odteretnog kanala Kupa-Kupa, VES Brodarci na ulazu u kanal, nasipa uzvodno Kupom i Dobrom, retencije Kupčina, ustave za upuštanje i ispuštanje voda iz retencije Kupčina. Izgradnja ovih objekata omogućila bi potpuno upravljanje vodama Kupe i Dobre uzvodno od Karlovca (Brodaraca), tj usmjeravanje voda u kanal i u korito Kupe prema potrebama obrane od poplava ili drugih razloga. Kao osnovni kriterij definirano je da se kod 100 godišnjih velikih voda Kupom prema Karlovcu ispušta maksimalno 650 m^3/s a preostala količina vode kanalom (765 m^3/s). Osim rasterećenja Kupe predviđeno je smanjenje velikih voda Korane neposredno u samom gradu (kanal, ustava).

U ovom radu težište je stavljeno na čvor Brodarci u kojem se ostvaruje distribucija voda Kupe i Dobre u nizvodno korito Kupe i u kanal Kupa-Kupa.



Slika 1 Planirani zahvati i objekti sustava obrane od poplave [12]

2. POSTOJEĆE STANJE OBRANE OD POPLAVA KARLOVCA

Od predviđenih objekata, do danas je izveden kanal Kupa – Kupa u duljini od 21,86 km, kojim je omogućeno rasterećenje dijela voda Kupe i Dobre u zavisnosti od dotoka. Kanal je u punom profilu završen 1979, godine, i od tada se koristi s manjim kapacitetom od planiranog budući da nisu izvedeni planirani objekti u čvoru Brodarci. U cilju povećanja korištenja kanala naknadno je uređen ulaz u kanal i kota ulaza je spuštena sa prethodno projektirane na kotu 109,00 m n.m. Danas pri 100 godišnjim velikim vodama Kupe od 1415 m^3/s kanalom odlazi 191 m^3/s, a koritom Kupe odlazi 1224 m^3/s, te se može reći da je kanal kod velikih voda iskorišten manje od 25% izvedenog kapaciteta.

Slika 2 Današnje stanje na ulazu u odteretni kanal Kupa - Kupa

Sustav obrane od poplave predviđa vodno energetsku stepenicu (VES) u koritu rijeke Kupe s odgovarajućim zapornicama, te ustavu na ulazu u kanal. U sastavu brane na rijeci Kupi predviđena je strojarnica hidroelektrane Brodarci. Rad hidroelektrane predviđen je korištenjem akumulacije (koju ostvaruje usporna građevina) između kota 113,50 m n.m. (minimalna radna voda) i 114,50 m n.m. (maksimalna radna kota). U međuvremenu je načinjen i glavni projekt VES (vodno energetska stepenica) Brodarci, koji nije ostvaren.

Prva faza obrane od poplave Karlovca izvedena je prije više od 30 godina, te se nameće pitanje razloga zastoja u realizaciji projekta. Prva je faza izvedena pod dojmom minulih poplava. Djelomičnom izvedbom rješenja i postignutim rezultatima ocijenjeno je da se ne mora intenzivno ulagati u daljnju izgradnju sustava te je nastupio zastoj, koji nažalost još traje. Dakle jedan od razloga su potrebna sredstva za daljnju izgradnju sustava obrane od poplava. Raspoloživa su sredstva usmjeravana u druga područja i na rješavanje drugih

problema, te se izgrađeni kapaciteti rasterećenja voda Save u Zagrebu i Kupe u Karlovcu slabo mogu koristiti, iako se uredno održavaju. Drugi razlog što se čvor Brodarci ne ostvaruje je njegova dvonamjenska uloga – distribucija velikih voda i proizvodnja električne energije, prema kojima je i definirano optimalno rješenje VES Brodarci. Radni vodostaj trajno podiže razine vode u koritima Kupe i Dobre, što zahtjeva odgovarajuća rješenja zaštite zaobalja od povišenih voda, a smanjuje se i prozvodnja električne energije u HE Ozalj.

Obzirom na današnje stanje mogućnosti ulaganja u dovršenje sustava obrane od poplava grada Karlovca prema danom rješenju i utjecaje koji se očekuju izgradnjom VES Brodarci na zaobalje i HE Ozalj za sada se ne očekuje realizacija tog projekta.

3. MOGUĆNOST IZVEDBE MALE HIDROELEKTRANE

Na inicijativu privatne tvrtke TEKONET-a pristupilo se razmatranju mogućnosti korištenja snage i energije Kupe i Dobre promjenom postojeće koncepcije i izvedbom MHE Brodarci, uzimajući u obzir osnovne potrebe grada Karlovca sa stajališta obrane od poplava. Obzirom da se izvedba MHE Brodarci može osigurati vrlo brzo, a konačno rješenje obrane od poplava s korištenjem kanala Kupa-Kupa u neizvjesnoj je budućnosti inicijativa TEKONET-a je vrlo povoljna i za grad Karlovac, jer omogućuje povećanje stupnja korištenja kanala, a time i veći stupanj sigurnosti grada od poplava i prije izgradnje konačnog rješenja.

3.1. Prijedlog izmjene rješenja čvora Brodarci

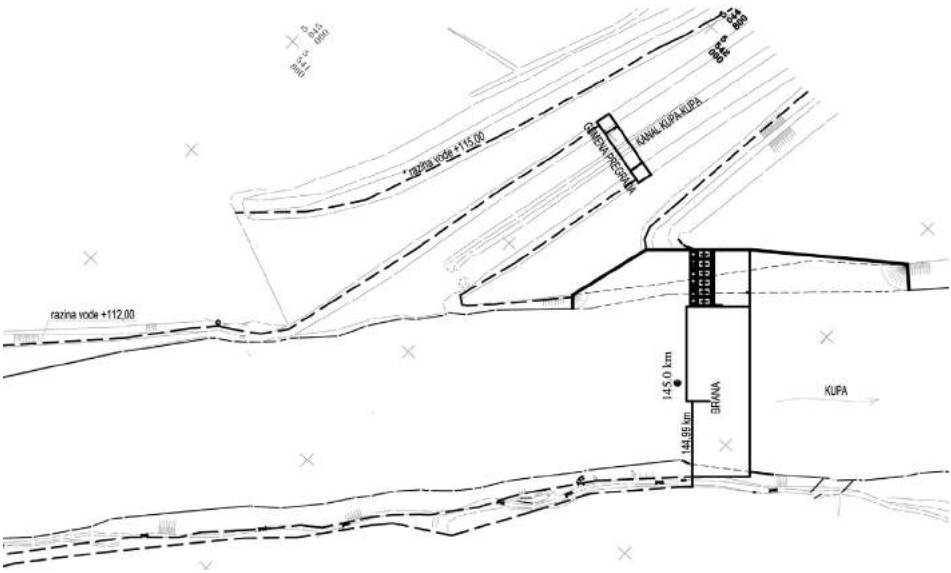
Polazeći od ideje da se koristi raspoloživa snaga i energija voda Kupe i Dobre izvedbom male hidroelektrane (MHE) u čvoru Brodarci, predložena je izmjena postojećeg rješenja. Kao prvo snizuje se radna kota MHE, te time značajno smanjuju utjecaji izgradnje na HE Ozalj i potrebu dodatne obrane od povišenih voda, a povećava se kapacitet kanala Kupa-Kupa gotovo dvostruko (sa 25% na 47% korištenja kapaciteta). Uspornim objektom, kojim se osigurava korištenje snage i energije vode, zadržava se voda u koritu rijeke tako da ne uzrokuje povišenje vodnih razina u zaobalju iznad razine oko 80 cm ispod terena. U slučaju većih dotoka razina se vode zadržava u okviru prirodnih vodostaja osim neposredno u području ulaza u kanal Kupa-Kupa. U HE Ozalj smanjuje se proizvodnja električne energije prosječno 0,8 GWH/god. Na taj je način moguće ulaganjem u izgradnju u samom čvoru zahvata i uz manje intervencije neposredno uzvodno osigurati proizvodnju električne energije (oko 15 GWh/god) i povećanje kapaciteta kanal na 47%. Rješenje je tako predloženo da se u kasnijoj fazi, ako se neće ulagati u konačno rješenje odmah, može ostvariti potpuni kapacitet kanala podizanjem dijela brane do odgovarajuće kote.

3.2. MHE Brodarci

Osnovne veličine koje definiraju općenito hidroelektranu su pad i instalirani protok. Kao najviša kota izabrana je kota 112,00 m n.m. čime se ostvaruje pad do 4,5 m. Instalirani protok je usvojen sa 120 m^3/s, što odgovara srednjem protoku u profilu Brodarci. To rješenje podrazumijeva izvedbu betonske brane u koritu rijeke Kupe duljine 115 m od čega je u duljini

od 60 m predviđena 3 m visoka gumena brana,. Gumena brana ima mogućnost spuštanja, te na taj način omogućuje kod velikih voda veći kapacitet prolaza voda kroz pregradni profil s ciljem smanjenja utjecaja na razine velikih voda u uzvodnom koritu. Uz branu predviđena je na lijevoj obali strojarnica MHE sa 6 turbina VLH ukupnog kapaciteta 120 m^3/s. Na početku kanala Kupa-Kupa predviđena je gumena brana duljine 30 m visine 3 m (između kota 109 i 112 m n.m.), kojom se omogućuje ostvarenja gornje vode MHE na koti 112,00 m n.m.

Ovim rješenjem povećava se korištenje kanala Kupa-Kupa tako da se kod 100 god. velikih voda kanalom propušta 357 m^3/s, a koritom Kupe odlazi 1058 m^3/s. Iskorištenost kanala je na ovaj način povećana na 47%.



Slika 3 Planirana MHE - situacija

3.3. Mogućnost ostvarenja konačnog kapacitet kanala Kupa-Kupa

Konačno se rješenje obrane od poplava i potpunog kapacitiranja kanala Kupa-Kupa može rješavati sa dva stajališta – izvedbom rješenja a) sa zapornicama koje omogućuju upravljanje razdiobom voda između nizvodnog korita i kanala i b) bez zapornice, kada razdioba ovisi o količini dotoka i rješenju objekta. Budući da je rješenje pod a) skuplje u prvom je koraku razmotreno rješenje bez zapornice.

To rješenje predviđa podizanje dijela brane MHE na kotu 115,00 m n.m. u dužini od 115 m. Na taj se način u manjoj mjeri može regulirati aktiviranje kanala Kupa-Kupa (korištenjem protočnog trakta MHE i VLH turbina) s time da se pri pojavi velikih voda kanal aktivira. Kod 100 god. velike vode kroz kanal se propušta protok od 762 m^3/s, a koritom Kupe prema Karlovcu protok od 653 m^3/s, što odgovara planiranom korištenju kanala (100 %). Konačno se rješenje može izvesti i koristiti uz izvedbu obrambenih nasipa uzvodno od pregradnog profila Kupom i Dobrom kako je to i predviđeno rješenjem obrane od

poplava Srednjeg Posavlja. Potpuno rješenje obrane od poplava podrazumijeva i uređenje retencije Kupčina (ustave i nasipi).

Slika 4 Ulaz u kanal Kupa-Kupa kod većih voda

Slika 5 Ulaz u kanal Kupa-Kupa kod malih voda

3.4. Raspodjela troškova

U okviru rješenja MHE procijenjeni su troškovi ostvarenja razmatrane varijante (kota preljeva 112 m n.m. u prvoj fazi rada i kota preljeva 115 m n.m. u završnoj fazi). Uz određene pretpostavke predložena je raspodjela zajedničkih troškova koristeći postupak preostalih koristi. Pokazuje se da se ukupni troškovi u prvoj fazi mogu podijeliti između korisnika obrane od poplava i korisnika MHE u odnosu 29:71, dok su troškovi druge faze u potpunosti interes korisnika obrane od poplava.

ZAKLJUČAK

Nakon trideset godina korištenja i održavanja djelomično izvedene obrane od poplava Srednjeg Posavlja postavlja se pitanje smisla nastavka tih radova i mogućnosti njihovog ostvarenja. U ovom radu prikazana je mogućnost i potreba izgradnje čvora Brodarci kako sa stajališta obrane od poplave Karlovca tako i sa stajališta korištenja obnovljivog izvora energije izgradnjom MHE. Vrijedno je iskoristiti interes privatnika kao poticaj za dovršenje obrane od poplava uz njegova odgovarajuća ulaganja.

LITERATURA

[1] Obrana od poplava srednje Kupe i Kupčine; Hidroprojekt, Zagreb, 1962,

[2] Obrana od poplava Gornjeg Posavlja; Direkcija za Savu, Zagreb, 1969,.

[3] VES Brodarci, Idejni projekt; Elektroprojekt, Zagreb, 1972,

[4] VES Brodarci, Glavni projekt; Elektroprojekt, Zagreb, 1981,

[5] Kompleksno uređenje sliva Kupe; HV, Elektroprojekt, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988,

[6] Projekt Obrana od poplava grada Karlovca; VPB, Zagreb, 2004.,

[7] Stepinac D: Obrana od poplave grada Karlovca; Hrvatska vodoprivreda.154/2005. Str.7-11

[8] OK Kupa-Kupa – Uređenje preljeva u kanal spuštanjem nivelete zole s kinetom; Vodoprivreda, Karlovac, 2006.

[9] MHE Brodarci – Idejno rješenje, Elektroprojekt Zagreb, 2009.

[10] Male HE u Karlovačkoj županiji; MHE Brodarci; Idejno rješenje; Elektroprojekt, Zagreb, 2009.g.

[11] Prethodna analiza rješenja čvora Brodarci u sustavu obrane od poplave grada Karlovca; A.K.I. Zagreb, 2010.

[12] Sustav obrane od poplava Srednjeg posavlja – SUO, VPB-Zagreb, 2004.

AUTORI

prof.dr.sc. Boris Beraković[a]
dr.sc. Eva Ocvirk[a]
Irvin Ahatović mr.ing.aedif. [b]

[a] Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, *boris.berakovic@grad.hr, ocvirk@grad.hr*

[b] M.Kovačevića 4, Zagreb, 10000, Hrvatska, *irvinleviahat@gmail.com*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.04.

VIŠENAMJENSKO KORIŠTENJE VODA LIKE I GACKE DOGRADNJOM HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

Marijan Marasović

SAŽETAK: U postojećem stanju vode Like i Gacke energetski se koriste u hidroelektranama (HE) Sklope i Senj. Prirodni dotoci sa sliva rijeke Like djelomično se izravnavaju u akumulacijskom jezeru Kruščica čiji volumen nije dovoljan za cjelovito rješenje poplava na prostoru Kosinja i Lipovog polja. Velike vode Like redovito plave ovo područje i nekontrolirano odlaze u ponore na prostoru Lipovog polja.

Ovaj problem nastojao se rješiti dogradnjom ovog sustava izgradnjom dodatnih akumulacijskih prostora za prihvat vodnih valova Like i njenih pritoka. Svrha dogradnje bila je uz zaštitu od poplava i bolja energetska iskoristivost voda Like.

KLJUČNE RIJEČI: Brana, akumulacija , hidroelektrana , preljev, poplava

VIŠENAMJENSKO KORIŠTENJE VODA LIKE I GACKE DOGRADNJOM HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SENJ

SUMMARY: The Lika and Gacka River waters are currently harnessed for energy production in the Sklope and Senj Hydroelectric Power Plants (HPP). Natural inflows from the Lika River are regulated in the Kruščica Reservoir whose volume is not sufficient for a complete inflow, so the downstream area with village Kosinj and Lipovo Polje field area are periodically flooded. The Lika River floods this area regularly, and flow into the sinkholes in the area of Lipovo Polje without control. This problem is intended to be resolved by upgrading the system by building additional reservoirs for the reception of water waves of the Lika River and its tributaries. The purpose is to upgrade the flood control and improve energy harnessing efficiency of the Lika River water.

KEYWORDS: dam, river basin, hydroelectric power plant, spillway, flood

1. HIDROENERGETSKI SUSTAV SENJ - HES SENJ

Postojeći hidroenergetski sustav Senj nalazi se u središnjem dijelu Republike Hrvatske u Ličko-senjskoj županiji. Izgrađen je za iskorištenje hidroenergetskog potencijala rijeka Like i Gacke na energetskoj stepenici od Ličke visoravni do Jadranskog mora. Pušten je u rad 1966. godine.

Sliv rijeke Like ima površinu od 1125 km2 i nalazi se na nadmorskoj visini iznad 480 m n.m. Srednja godišnja visina oborina iznosi 1630 mm, a srednji protok rijeke Like u profilu Kruščica iznosi 24,20 m3/s.

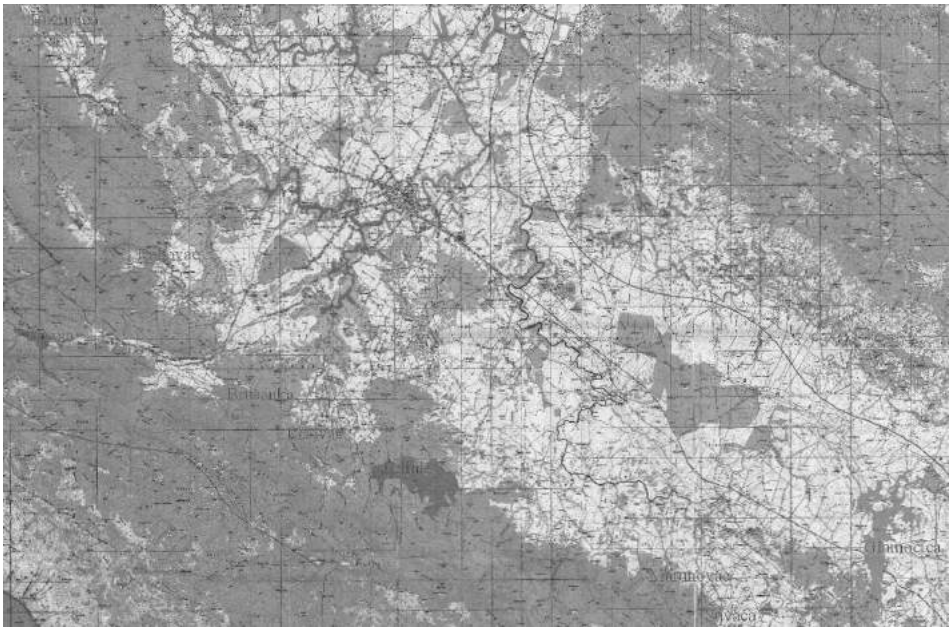
Sliv rijeke Gacke ima površinu od 584 km2 i nalazi se nadmorskoj visini iznad 430 m n.m. Srednja godišnja visina oborina iznosi 1350 mm, a srednji protok u profilu Šumečica iznosi 14.36 m3/s.

Ovaj sustav sastoji se od :

- Brane Sklope i akumulacijskog jezera Kruščica korisnog volumena 130 mil. m3
- HE Sklope s instaliranim protokom od 50,0 m3/s
- Brane i kompenzacijskog bazena Selište
- Derivacijskog sustava od zahvata na brani Selište do HE Senj, dužine oko 41 km
- Kompenzacijskog bazena Gusić polje korisnog volumena 1,3 mil. m3
- HE Senj s instaliranim protokom od 60,0 m3/s, instalirana snaga 216 MW

Tijekom razdoblja korištenja ovog sustava uočava se nemogućnost zadržavanja velikih voda Like u jezeru Kruščica zbog čega dolazi do plavljenja područja nizvodno od jezera Kruščica. Obzirom da je rijeka Lika bujičnog karaktera, zaštita ovog područja od plavljenja moguća je izgradnjom retencija / akumulacija u slivu Like ili gradnjom velike akumulacije na prostoru nizvodno od postojećeg jezera Kruščica.

Studijom optimalnog korištenja voda u slivu Like i Gacke, financiranom od Elektroprivrede – Rijeka, 1984. godine, načinjena je usporedna analiza ove dvije varijante zaštite sliva Like od poplava i to varijanta izgradnje 12 akumulacija na prostoru sliva rijeke Like i pripadnih pritoka (Novčica, Otešica) (sl.1) i varijanta izgradnje akumulacije Kosinj (sl. 2) . Dobiveni su slijedeći rezultati:



Slika 1. Dio planiranih uzvodnih akumulacija / retencija

Pokazatelj	Uzvodne akumulacije	Akumulacija Kosinj
Potopljena površina	11.200,00 ha	1.300,0 ha
Potopljeni stambeni objekti	705	389
Potopljeni gospodarski objekti	353	195
Dodatna energija	290 GWh	380 GWh

Gospodarsko- tehničkom usporedbom analiziranih rješenja usvojena je kao povoljnija varijanta izgradnje akumulacije Kosinj tako da se postojeći hidrotehnički sustav nadograđuje slijećim objektima

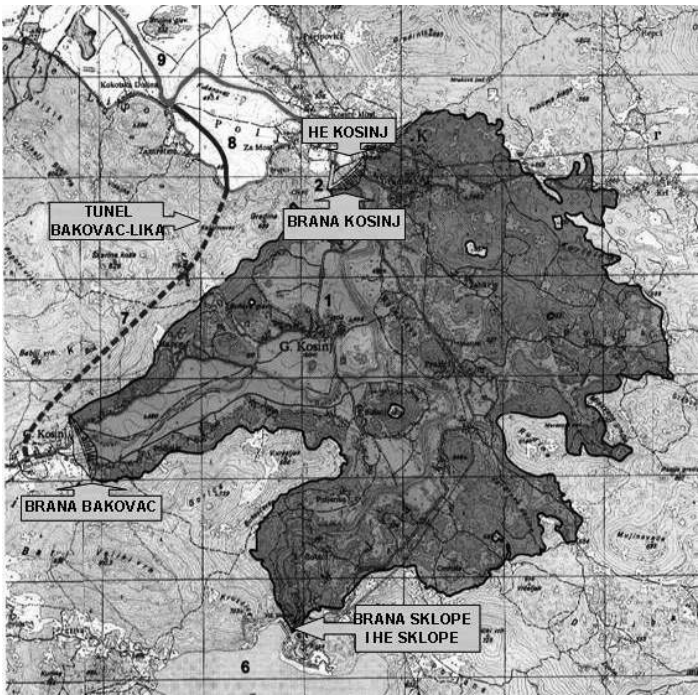
- Akumulacija Kosinj i HE Kosinj s uspornom kotom 540,0 m n.m., volumen 450,00 mil. m3
- Kompenzacijski bazen Gusić polje 2 korisnog volumena 2,1 mil. m3
- HE Senj 2 s instaliranim protokom 100 m3/s

U svrhu racionalizacije tehničkog rješenja HE Kosinj, HEP je inicirao studiju pod nazivom Analiza opravdanosti promjene osnovnih projektnih veličina HE Kosinj i HE Sklope koju je izradio Elektroprojekt – Zagreb, 1999. godine. Rezultati ove studije sastoje se u promjeni kote uspora u jezeru Kosinj na 530,0 mnm s volumenom 330,0 mil. m3, zadržavanju postojeće HE Sklope i izvedbi strojarnice HE Kosinj sa jednim agregatom.

2. OPIS DOGRAĐENOG SUSTAVA HES SENJ

2.1. AKUMULACIJA KOSINJ

Akumulacijsko jezero Kosinj ostvaruje se izgradnjom nasutih brana Kosinj, Bakovac i tzv. brane na Sedlu te izvedbom injekcijske zavjese u lijevom i desnom boku brane Kosinj u svrhu osiguranja vododrživosti. Kota max. radnog vodostaja je 530.00 m n.m., površina jezera na koti 530.00 m n.m. iznosi 1150 ha, korisni volumen 324 mil. m3. Potrebna površina injekcijske zavjese u lijevom i desnom boku brane Kosinj iznosi 220.000,00 m2.

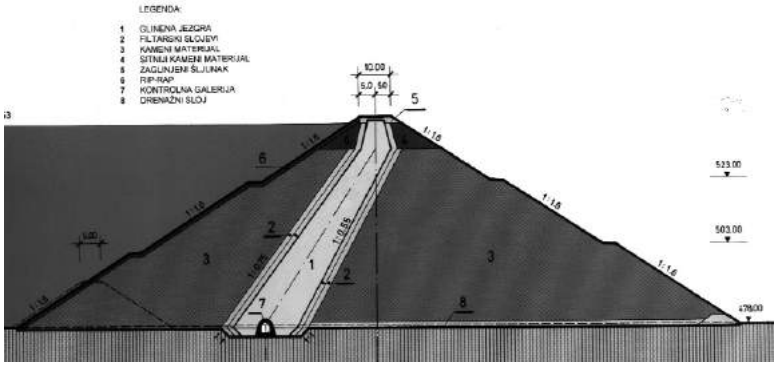


Slika 2. Prostor akumulacije Kosinj

2.2.Brane Kosinj i Sedlo

Branom Kosinj (sl.3) pregrađuje se korito rijeke Like cca.6 km nizvodno od brane Sklope, predviđena je nasuta brana, zoniranog poprečnog presjeka s koso položenom glinenom jezgrom te potpornim zonama od kamenog materijala. Glinena jezgra je od erozije zaštićena s uzvodne i nizvodne strane dvoslojnim filtrima.

Brana Kosinj maksimalne visine je 57 m, kota krune brane je 533.00 m n.m.. U dnu brane predviđena je izvedba injekcione galerije ukupne dužine 340 m, a dužina brane u kruni na koti 533.00 m n.m. je ~385.00 m.

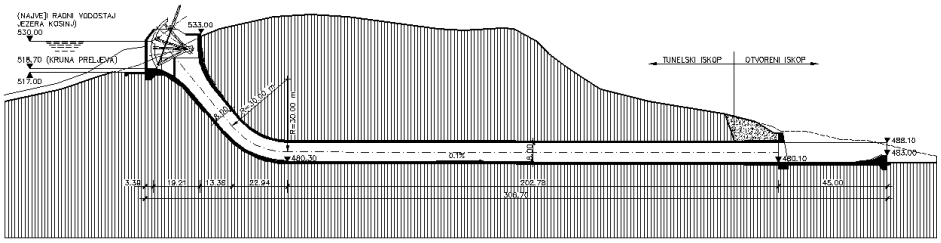


Slika 3. Brana Kosinj

Brana na Sedlu pregrađuje prirodno sedlo u produženju desnog kraja pregradnog mjesta kosinj. Predviđena je nasuta brana zoniranog poprečnog presjeka. Ova brana na najvišem dijelu visoka je ~13m , a dužina brane je cca. 200m

2.2.1. Preljev

Preljev na brani Kosinj (sl.4) predviđen je kao preljev s odvodnim tunelom, a odabir takvog rješenja uvjetovan je topografijom terena. Najveći protok preko preljeva ostvaruje se za vrijeme evakuacije vodnog vala povratnog perioda 10.000 godina i iznosi Q=1.034 m3/s.

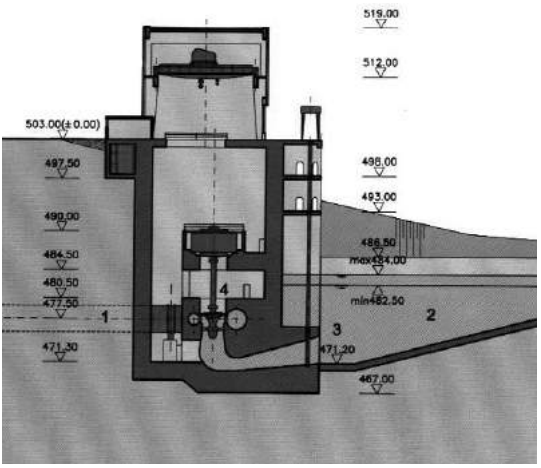


Slika 4. Preljev na brani Kosinj

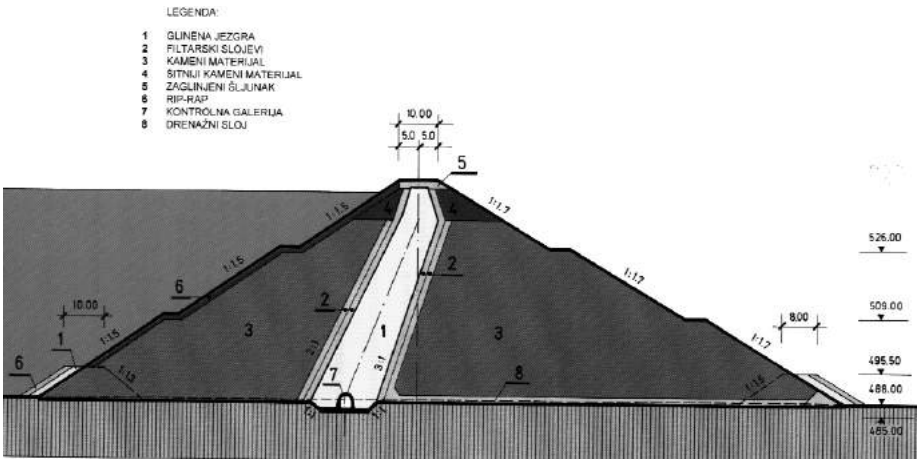
Preljev ima dva preljevna polja, širine 6,30 m i opremljen je s dvije jednake segmentne zapornice dimenzija 6,30 x 11,30 m. Odvodni tunel, potkovastog poprečnog presjeka dimenzioniran je tako da se osigura tečenje sa slobodnim vodnim licem kod maksimalnog protoka.

2.2.2. Strojarnica HE Kosinj (sl.5)

Instalirani protok iznosi Q_i= 50 m^3/s, a rad agregata moguć je kod radnih vodostaja u jezeru Kosinj u rasponu od 490,00 m n.m. do 530,00 m n.m.. Max. nivo donje vode predstavlja max. vodostaj u kompenzacijskom bazenu Selište koji je na 482,50 m n.m. čime se ostvaruju korisni bruto padovi između 7,5m i 47,5m . Energetsko iskorištenje ovog pada osigurava se ugradnjom jedne Kaplan turbine i generatora sa promjenljivim brojem okretaja tako da se dobiva instalirana snaga u rasponu od 18,0 MW do 31,0 MW. Srednja godišnja proizvodnja električne energije u hidroelektrani Kosinj iznosi ~48.000 MWh, što uz prosječnu proizvodnju HE Sklope od 68.000 MWh daje ukupnu proizvodnju na obje elektrane od 116,00 GWh odnosno ~40.000 MWh više od današnje proizvodnje HE Sklope



Slika 5. Strojarnica HE Kosinj



Slika 6. Brana Bakovac

2.2.3. Brana Bakovac

Brana Bakovac (sl. 6) pregrađuje dolinu potoka Bakovca, koja se na taj način, zbog njezine nedovoljne vododrživosti isključuje iz akumulacijskog jezera Kosinj. Potok Bakovac se tunelom i kanalom prevodi u kompenzacijski bazen Selište, odnosno u rijeku Liku, nizvodno od pregradnog mjesta Kosinj. Brana Bakovac visoka je 47 m, kruna brane na koti 533.00 m n.m. širine je 10.0m , a preko krune brane predviđena je pristupna cesta širine kolnika 5.50m . U dnu brane predviđena je izvedba injekcijske galerije čija je dužina ~420m, a dužina krune brane na koti 533.00 m n.m. je ~468.00 m.

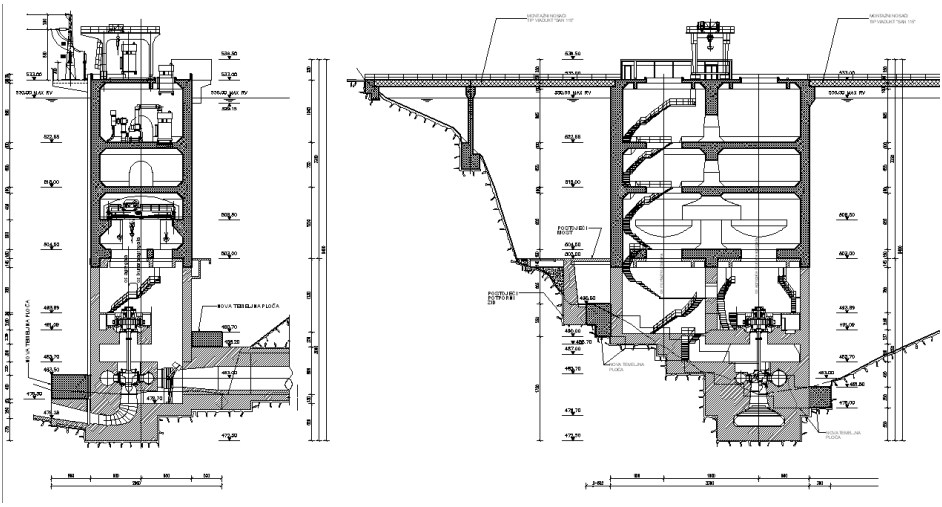
2.2.4. Strojarnica HE Sklope

Postojeća strojarnica HE Sklopa smještena je u dva betonska šahta, bunarskog tipa, svijetlog promjera 14,0 m, a u njima se nalaze turbinska i generatorska etaža s montažnim prostorom.

Strojarnica HE Sklope u novim uvjetima (sl.7) nadograđuje se od postojećeg pristupa na koti 503,0 m n.m, do nove kote pristupnog platoa na koti 533.00 m n.m.. Povišenje se ostvaruje tako što se na postojeću strojarnicu HE Sklope nadograđuje novi betonski dio strojarnice, istog tlocrtnog oblika kao i postojeća strojarnica. Desni šaht (gledano nizvodno) generalno služi za poslove montaže i vertikalnog transporta opreme, a u lijevom šahtu smještena je proizvodna jedinica.

Postojeća Francis turbina bit će zamijenjena novom Kaplan turbinom nazivne snage P_t= 27,0 MW, instaliranog protoka Q_i=50 m^3/s.

Srednja godišnja proizvodnja električne energije u postojećoj hidroelektrani Sklope iznosi ~76,330 MWh, a u novim uvjetima proizvodnja iznosi ~ 68,000 MWh.



Slika 7. Rekonstruirana strojarnica HE Sklope

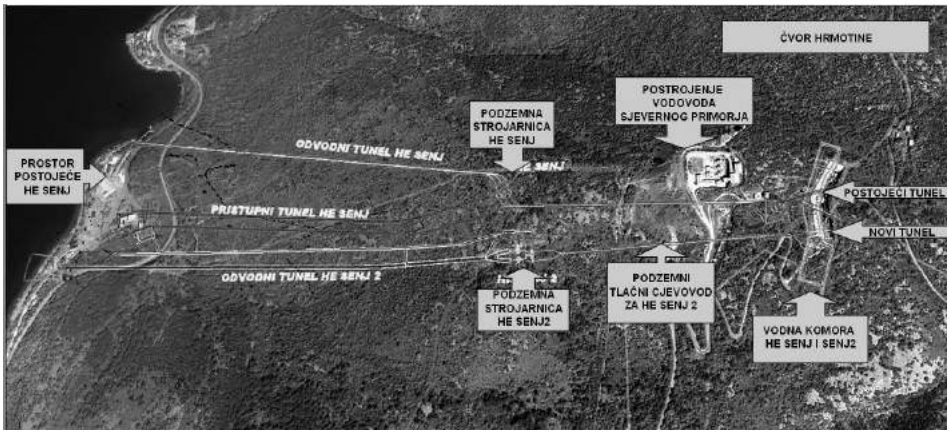
2.2.5. Kompenzacijsk bazen Gusić polje 2

Kompenzacijski bazen Gusić polje 2 (sl.8) smješten je na jugoistočnoj strani postojećeg bazena Gusić polje. Bazen se formira izvedbom lijevog obodnog nasipa na jugoistočnoj strani, prirodnim terenom na jugozapadnoj strani, te rekonstrukcijom jugoistočnog nasipa postojećeg bazena, koji postaje razdjelni nasip između novog i postojećeg bazena. Površina bazena na koti maksimalnog radnog vodostaja iznosi 53,9 ha, a ukupna površina objekta uključujući nasipe i cestu oko bazena iznosi 68 ha. Ukupni volumen bazena je 2,4 mil. m3, a korisni između minimalnog i maksimalnog radnog vodostaja je 2,1 mil. m3 i dovoljan je za potpuno dnevno izravnanje dotoka u bazen i vršni rad hidroelektrane Senj 2.

Slika 8. Bazen Gusić polje 2

2.2.6. HE Senj 2

Strojarnica HE Senj 2 (sl.9) smještena je sjeveroistočno od postojeće strojarnice HE Senj. Predviđena je kao podzemni objekt sa dvije proizvodne grupe, trafo kavernom i SF6 rasklopnim postrojenjem. Pristupni plato na koti + 7,40 m n.m. visinski je smješten na istoj koti kao i u postojećoj strojarnici HE Senj, tako da se za pristup u strojarnicu HE Senj 2 izvodi odvojak do postojećeg pristupnog tunela u dužini od 130 m. Pristupni tunel potkovastog je poprečnog presjeka svijetle širine 5.1 m i visine u osi 5.2 m.



Slika 9. Lokacija HE Senj i HE Senj 2 sa lokacijom vodozahvata Hrmotine

Instalirani protok elektrane je 100 m3/s, konstruktivni pad elektrane je 412,0 m, a instalirana snaga 380 MW

Dovod vode od Gusić polja 2 do strojarnice HE Senj 2 je novim dovodnim tunelom promjera 6.3m, dužine 13,6 km i podzemnim tlačnim cjevovodom dužine 590m, promjera 3,5 do 5,0m

3. ENERGETSKI POKAZATELJI SUSTAVA

U postojećem stanju ovaj sustav služi za proizvodnju uglavnom temeljne energije i osiguranje vodoopskrbe Sjevernog primjorja zahvatom iz tunela na lokaciji Hrmotine (vidi sl.9)

Energetski pokazatelji ovog sustava na bazi hidrološkog niza 1970-1995.god. su slijedeći:

- Prosječna godišnja proizvodnja HE Sklope 75,4 GWh
- Prosječna godišnja proizvodnja HE Senj 971,8 GWh
- Prosječna količina vršne energije 342,7 GWh
- Prosječni broj sati rada HE Senj 4992 sata ili prosječno 13,6 sati dnevno
- Prosječni godišnji preljev na brani Sklope 260,2 mil.m3

Dogadnjom ovog sustava osigurava se potpuna regulacija preljevnih voda iz jezera Kruščica, a time i zaštita od poplava Lipovog polja. Veća iskoristivot voda osmogućava proizvodnju nove energije i pretvaranje cjelokupne proizvodnje energije u HE Senj i HE

Senj 2 u skuplju vršnu energiju. Izgradnjom novog dovodnog tunela osigurava se potpuna sigurnost vodoopskrbe Sjevernog primorja za slučaj da jedna od elektrana ne radi. U ovom slučaju energetski pokazatelji sustava na bazi hidrološkog niza 1970-1995.god. su slijedeći:

- Prosječna godišnja proizvodnja HE Sklope 68,4 GWh
- Prosječna godišnja proizvodnja HE Kosinj 47,1 GWh
- Prosječna godišnja proizvodnja HE Senj + HE Senj2 1,320.3 GWh
- Prosječna količina vršne energije u cijelom sustavu 1,386.4 GWh
- Prosječni broj sati rada HE Senj i Senj 2 2400 sati ili prosječno 6,6 sati dnevno
- Prosječni godišnji preljev na brani Kosinj 21,6 mil.m3

4. FINANCIJSKI POKAZATELJI SUSTAVA

Troškovi dogradnje ovog sustava bazirani na postojećoj projektnoj dokumentaciji iznose:

- Izgradnja akumulacije i HE Kosinj s rekonstrukcijom HE Sklope 158,0 mil.€
- Izgradnja bazena Gusić polje 2 32,0 mil. €
- Izgradnja HE Senj 2 320,0 mil.€
- **UKUPNO** **510,0 mil.€**

Vrijednost današnje proizvodnje energije uz cijenu temeljne energije od 50,0 €/MWh i cijenu vršne energije energije od 100,0 €/MWh iznosi ~70,0 mil.€/godišnje , dok se vrijednost proizvedene energije nakon dogradnje sustava povećava na ~141,0 mil. €/godišnje, odnosno ostvaruje se povećanje prosječnog godišnjeg prihoda od ~71,0 mil. €/godišnje

Uz navedene podatake ovaj projekt ostvaruje slijedeće ekonomske pokazatelje:

- Interna stopa rentabilnosti 9.8 %
- Omjer koristi i troškova /K/T) 1.55
- Vrijeme povrata sredstava 10 godina

Uz navedenu cijenu energija granična investicija koja osigurava rentabilnost ovog projekta iznosi ~800,0 mil.€ odnosno 56% veći iznos od projektom planiranog.

Iz navedenih podataka vidljivo je da ovaj sustav osigurava sigurnu dobit za ulagača i lokalnu upravu te da predstavlja novi **stalni** izvor sredstava za daljnji razvoj.

5. KOLIČINE GLAVNIH RADOVA

Za izgradnju novih objekata u ovom sustavu potrebno je izvesti slijedeći opseg glavnih radova :

- Iskop zemljanog i stjenskog materijala ~1.250.000,00 m3
- Iskop humusa ~600.000,00 m2
- Tunelski iskop ~950.000,00 m3
- Ugradnja filterskog materijala ~550.000,00 m3
- Nasip zemljanog i kamenog materijala ~3.500.000,00 m3
- Ugradnja gline ~950.000,00 m3
- Ugradnja betona ~350,000,00 m3
- Mlazni beton ~180.000,00 m2

- Ugradnja armature ~9.000,00 t
- Hidromehanička oprema ~2,500.00 t
- Elektromehanička oprema ~2.200.00 t

Iz navedenih podataka vidljivo je da izgradnja ovih objekata zahtjeva veliki angažman građevinske oprative i prateće industrije, čime se može bitno pridonijeti povećanju zaposlenosti kako tvrtki na području Hrvatske tako i lokalnih tvrtki na prostoru Ličko- Senjske županije.

ZAKLJUČAK

Optimalno upravljanja velikim vodama Like i Gacke predstavlja rješenje koje se sastoji u izgradnji akumulacjskog jezera Kosinj koje je zajedno sa akumulacijskim jezerom Kruščica dovoljnog volumena za godišnje izravnanje prirodnih dotoka rijeke Like.Time se prostor Lipovog polja gotovo u potpunosti štiti od polava, a vode Like i Gacke mogu se izgradnjom nove HE Senj 2 koristiti za proizvodnju isključivo skuplje vršne energije čime se bitno povećava prosječni godišnji prihod od prodaje energije iz ovog sustava. Povećani prihod osigurava brzi povrat uloženih sredstava te stvaranje novih sredstava za daljni razvoj.

Uz dodatne koristi od nove energije dogradnjom ovog sustava ostvaruju se i druge koristi kao što su:

- Zaštita od poplava područja uzvodno i nizvodno od današnjeg jezera Kruščica
- Poboljšanje uvjeta života na prostoru Lipovog polja i doline Bakovca
- Poboljašanje uvjeta za poljoprivredu u Lipovom polju
- Bolja infrastrukturna izgrađenost naselja uz akumulacijsko jezero zbog uvjeta propisanih lokacijskom dozvolom i stalnih prihoda lokalnoj upravi
- Poboljašnje sigurnosti vodoospskrbe Sjevernog primorja
- Veći prihod lokalnoj upravi čime se stvara preduvjet za poboljšanje uvjeta života na širem području ovog energetskog sustava

Izgradnja ovog energetskog sustava od velikog je interesa za Republiku Hrvatsku jer značajno pridonosi povećanju zaposlenosti kako industrije na razini Države tako i na lokalnom području tijekom razdoblja gradnje i budućeg rada ovog sustava. Očekivani period gradnje svih objekata u ovom sustavu je približno 8 do 10 godina.

Ovaj sustav ujedno predstavlja najveći investicijski pothvata na prostoru Ličko-Senjske županije nakon izgradnje auto-ceste, a koji je u potpunosti financijski isplativ i osigurava povrat uloženih sredstava. Obzirom na financiske pokazatelje ovog sustava postoji mogućnost i njegove daljne dogradnje u svrhu povećanja ukupne proizvodnje energije pretvarenjem planirane HE Senj 2 u reverzibilno postrojenje koje bi za proizvodnju nove energije koristilo morsku vodu na energetskoj stepenici Jadransko more (razina 0.0 mnm)–područje Hrmotina (razina (440,0 mnm)

LITERATURA

[1] Elektroprojekt-Zagreb, 1984, Studija optimalnog korištenja voda u slivovoma rijeka Like i Gacke

[2] Elektroprojekt-Zagreb, 1989, Akumulacijsko jezero Kosinj s HE Kosinj i HE Otočac- Idejni projekt

[3] Elektroprojekt-Zagreb, 1997, He Senj 2 – Idejni projekt

[4] Elektroprojekt-Zagreb, 1997, Kompenzacijski bazen Gusić polje 2 – Glavni projekt

[5] Elektroprojekt- Zagreb, 1999, Analiza opravdanosti promjene osnovnih projektnih veličina HE Kosinj i HE Sklope

[6] Elektroprojekt-Zagreb, 2005, Uklapanje HE Sklope u sustav HES Kosinj

AUTOR

Marijan Marasović dipl. ing. građ.
Elektroprojekt, A.V.Humboldta 4,10000 Zagreb

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.05.

PROJEKT UPRAVLJANJA NERETVOM I TREBIŠNJICOM

Miroslav Steinbauer, Mario Obrdalj, Sanja Barbalić, Nataša Gecan

SAŽETAK: Područje koje obuhvaća sliv rijeke Neretve je bogato vodom i još od kraja 19. stoljeća je područje intenzivnog istraživanja režima voda i rješavanja vodnogospodarskih problema. Danas je vodno bogatstvo jedan od temelja općeg gospodarskog razvitka i stoga zaslužuje posebnu pozornost. Budući da je na ovom području prirodan hidrološki režim izrazito nepovoljan (vrlo velika neravnomjernost rasporeda vode u prostoru i vremenu), za ostvarivanje racionalnog gospodarenja vodama - korištenje voda, zaštitu od voda kao i zaštitu kakvoće i količine voda - neophodna je izgradnja složenih vodnogospodarskih sustava koji omogućavaju dobro upravljanje u vodnom gospodarstvu. Kako bi se postigli maksimalni pozitivni učinci pri upravljanju vodnogospodarskim sustavima potrebno je donositi značajne odluke zasnovane na stručnim i znanstvenim proučavanjima složene problematike, odnosno na integralnom pristupu upravljanju vodama i definiranoj generalnoj strategiji razvitka vodnog gospodarstva.

Projekt upravljanja Neretvom i Trebišnjicom zajednički je projekt Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine čija je svrha osigurati mehanizme za učinkovitu i pravednu raspodjelu vode među korisnicima riječnog sliva na prekograničnoj razini i poboljšati stanje ekosustava i biološke raznolikosti.

U radu je sistematiziran i predstavljen pregled aktivnosti na projektu s osnovnim informacijama o pravnom i financijskom okviru provedbe.

KLJUČNE RIJEČI: darovnica GEF-a, Neretva i Trebišnjica, upravljanje, prekogranični sliv, zaštita prirode

NERETVA AND TREBIŠNJICA MANAGEMENT PROJECT

SUMMARY: The region of the Neretva River basin is rich in water, where intensive investigation of the water regime and coping with water management problems date back to the end of the 19th century. Water resources are today one of the bases of overall economic development, and as such deserve special attention. Since the natural hydrological regime in this area is extremely unfavourable (uneven spatial and temporal distribution of water), economical water management – water use, protection from water, and protection of water quality and quantity – requires the construction of complex water management systems which enable good management in the water management sector. In order to achieve maximum positive effects when managing water management systems, signifi-

cant decisions have to be made based on expert and scientific analyses of complex problems, i.e. integrated approach to water management and a defined overall strategy on the development of water management.

The Neretva and Trebišnjica Management Project is a joint project of Croatia and Bosnia and Herzegovina. Its objective is to provide mechanisms for efficient and equitable water allocation among the users of the river basin at the transboundary level and improve ecosystems and biodiversity.

The paper presents project activities with basic information on the legal and financial frameworks of project implementation.

KEYWORDS: GEF grant, Neretva and Trebišnjica Rivers, management, transboundary basin, nature protection

UVOD

Područje koje obuhvaća sliv rijeke Neretve je bogato vodom Iz tog razloga je na tom prostoru već krajem 19. stoljeća počelo proučavanje režima voda i rješavanje vodnogospodarskih problema. Danas je sasvim jasno da vodno bogatstvo može biti jedan od temelja za opći gospodarski razvitak u narednim godinama i stoga zaslužuje posebnu pozornost. Budući da je na ovom području prirodan hidrološki režim izrazito nepovoljan (vrlo velika neravnomjernost rasporeda vode u prostoru i vremenu), za ostvarivanje racionalnog gospodarenja vodama - korištenje voda, zaštitu od voda kao i zaštitu kakvoće i količine voda, neophodna je izgradnja složenih vodnogospodarskih sustava koji omogućavaju dobro upravljanje u vodnom gospodarstvu. Kako bi se postigli maksimalni pozitivni učinci pri upravljanju vodnogospodarskim sustavima potrebno je donositi značajne odluke zasnovane na stručnim i znanstvenim proučavanjima složene problematike, odnosno na integralnom pristupu upravljanju vodama i definiranoj generalnoj strategiji razvitka vodnog gospodarstva.

Unatoč činjenici da postojeći planovi razvoja vodnog gospodarstva država na slivu nisu optimizirani u širem kontekstu, društveni i gospodarski razvitak od vodnog gospodarstva traži brzo donošenje često i vrlo značajnih odluka. Kako bi se izbjegle ili bar umanjile greške, bilo bi korisno u kratkom razdoblju definirati globalne elemente zajedničke strategije i politike vodnog gospodarstva područja, koje kasnije treba potvrditi ili korigirati na osnovi detaljnijih studija. Time se mogu potaknuti razmišljanja koja bi vodila k započinjanju sustavnog pristupa proučavanju problema razvoja vodnog gospodarstva s ciljem uređenja vodnog režima i optimalnog gospodarenja vodama, usklađenog s potrebama zaštite okoliša i biološke raznolikosti. Naime, u slivu Neretve i Trebišnjice posljednjih pedeset godina izgrađeno je mnogo građevina koje su utjecale na veće izmjene hidrološkog režima, a isto tako se, u narednom razdoblju, očekuje realizacija vodnogospodarskih građevina i sustava, koji također bitno mijenjaju hidromorfološke uvjete na području donje Neretve. Do danas nisu točno definirani parametri većine sustava kao i njihovi utjecaji na hidrološki režim donje Neretve koje ima vrlo složenu vodnogospodarsku problematiku.

Projekt upravljanja Neretvom i Trebišnjicom zajednički je projekt Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine čija je svrha osigurati mehanizme za učinkovitu i pravednu raspodjelu vode među korisnicima riječnog sliva na prekograničnoj razini i poboljšati

stanje ekosustava i biološke raznolikosti.

OPIS PODRUČJA

Iako područje sliva Neretve i Trebišnjice ima izrazite karakteristike krša, u njemu su oblikovani značajni površinski vodni tokovi. Točne granice slivova vodotoka, uslijed velike okršenosti terena, teško je odrediti, slika 1.

Duljina rijeke Neretve iznosi 220 km, što je čini najdužom i, također, vodom najbogatijom rijekom krša. Neke njene pritoke, posebno na višim horizontima, kao i pojedina vrela u slivu, redovito presušuju, što u nekim slučajevima traje i veći dio godine. Površina sliva rijeke Neretve zajedno sa slivom rijeke Trebišnjice, s kojom je vezana podzemnim putovima, iznosi oko 10.500 km^2. U slivu rijeke Neretve izgrađeno je više hidroenergetskih objekata sa akumulacijskim jezerima ("Rama", "Jablanica", "Grabovica", "Salakovac" "Mostar" i „Mostarsko Blato", sve u Bosni i Hercegovini), koji bitno utječu na vodni režim.

Rijeka Trebišnjica u prirodnim uvjetima nizvodno od Trebinja, gubila je vodu otjecanjem u podzemne tokove duž čitavog svog površinskog toka. U vrijeme nailaska izuzetno velikih voda, dolazilo je do formiranja retencije u donjim dijelovima Popovog polja. Jedan dio voda s ovog sliva otječe podzemnim prirodnim putovima prema Jadranskom moru, dok drugi dio, podzemnim vezama, u sliv Neretve. U sadašnjem stanju, prirodni vodni režim Trebišnjice je također značajno izmijenjen izgradnjom hidroenergetskog sustava "Trebišnjica". Vode Trebišnjice se zadržavaju u akumulacijama "Bileća" i "Trebinje", odakle se dio tunelom odvodi prema moru, gdje se energetski iskorištava u HE Dubrovnik.

Drugi dio voda iz akumulacija se usmjerava nizvodno u korito Trebišnjice i, zajedno s međutokom, energetski koristi na PHE "Čapljina".

Slika 1 Neretva i Trebišnjica

Opći geografski položaj, blizina Jadranskog mora, položaj Dinarida, promjene u nadmorskoj visini (more – Dinarski masiv), te neravnomjeran i složen temperaturni i oborinski režim značajno utječu na klimatske osobnosti područja.. Područja u neposrednoj blizini mora i s malom nadmorskom visinom imaju značajke mediteranske klime. Udaljavajući se od mora, a posebno s porastom nadmorske visine, klimatske prilike se sve više modificiraju k prijelaznom tipu između kontinentalne i planinske klime. Prosječne godišnje količine oborina se kreću od oko 1.500 l/m^2 do oko 1.800 l/m^2, s najmanje oborina u srpnju, a najviše u studenom. Tijekom vegetacijskog razdoblja (travanj-rujan) padne znatno manje oborina nego u preostalom dijelu godine. U kišnim godinama, ukupne mjesečne oborine dostižu vrijednosti i do 700 l/m^2/mjesečno, dok u sušnoj godini uopće nema oborina tijekom jednog ili više mjeseci.

Promatrano područje donjeg i djelomično srednjeg dijela sliva rijeke Neretve prostire se, kako je gore već navedeno, većim dijelom na površini sa specifičnim hidrološkim obilježjima krša, odnosno na površini s oko 20 većih i manjih krških polja. Dio oborinskih voda ne otječe površinski već se infiltrira u tlo i kreće se podzemno u sredinama s granularnom i pukotinskom poroznošću kao i krškim kanalima. Ova podzemna faza otjecanja obavlja se na dužem ili kraćem putu i na kraju voda istječe na površinu iz koncentriranih izvora ili istječe u korita vodotoka, te nastavlja teći površinski. Zbog toga je vrlo teško generalizirati hidrološki režim područja u cjelini. Na ulazu rijeke Neretve na teritorij Republike Hrvatske u Metkoviću srednji godišnji protok je 355 m^3/s, minimalni zabilježeni protok bio je 32 m^3/s, a izračunati maksimalni protok prelazi 2.400 m^3/s.

Posljednji deseci kilometara rijeke Neretve čine deltu Neretve, niz morskih, slatkovodnih i boćatih laguna. Delta, nazvana Neretvanske Blatije, se u prirodnom stanju sastoji od glavnog i nekoliko sekundarnih kanala. Neretvanske Blatije i polja oko donje Neretve čine područje od oko 19.000 ha, od kojih se 63% ili 12.000 ha, nalazi u Hrvatskoj, a preostalih 37% u Bosni i Hercegovini. Veliki dio toga područja isušen je i pretvoren u poljoprivredno zemljište. Preostala močvarna područja čine naveće i najvrjednije ostatke sredozemnih močvara u Hrvatskoj i predstavljaju jedno od malobrojnih takvih područja u Europi.

Položaj, bogatstvo vodom i zemljištem, kao i blaga klima, potpomogle su razvoj bogate, jedinstvene flore, kao i raznolike faune. Na užem području delte moguće je naći oko 820 biljnih vrsta. Istraživanjima je utvrđeno ukupno 311 ptičjih vrsta, od čega je 116 vrsta ptica gnjezdarica i 35 vrsta vodarica. Zbog svog geografskog položaja delta je i odmorište ptica selica i zimovalište ptičjih populacija iz sjeveroistočne i srednje Europe.. Na cijelom području zabilježenoje 35 vrsta slatkovodne ribe, a na području ušća Neretve oko 60 vrsta morskih riba od kojih je najvažnija jegulja. Ušće rijeke također je važno kao mrjestilište mnogih ribljih vrsta. Obilje riba i školjkaša u kanalu Neretve rezultat je dobre kakvoće vode rijeke Neretve. Poznato mjesto za uzgoj kamenica je Malostonski zaljev.

Donji dio Neretve uključen je u Ramsarski popis Konvencije o zaštiti vlažnih područja od međunarodne važnosti kao jedno od posljednjih mediteranskih močvarnih područja od velikoga ornitološkog značenja. Lokalitet Hutovo Blato u BiH, koji se sastoji od 30.000 ha močvare, iznimno je vrijedan resurs uključen na Popis vlažnih područja od međunarodnog značaja i zajedno s deltom čini jedinstveni ekosustav od prioritetne važnosti u nas i u Sredozemlju..

3. PROJEKT UPRAVLJANJA NERETVOM I TREBIŠNJICOM

Prekogranični karakter rijeka Neretve i Trebišnjice i njihova, s ekološkog stajališta, iznimno zanimljiva slivna područja, koja ujedno imaju velik gospodarski značaja za područja kojim protječu te čine ovaj projekt iznimno složenim. Potreba za racionalnim, održivim upravljanjem vodama u takvim slučajevima je posebno naglašena. Nadalje, prekogranična analiza zaštite okoliša proistekla sagledavanjem stanja zemljišta, upravljanja vodama, biološke raznolikosti, socio-ekonomskih značajki obavljena tijekom pripremne faze projekta identificirala je ključne probleme u slivu:

- smanjenje raspoloživih količina vode za potrebe vodoopskrbe stanovništva i navodnjavanje,
- održanje ekološki prihvatljivog protoka,
- pogoršanje kakvoće voda, i
- gubitak površina pod močvarama i biološke raznolikosti područja.

Slivovi Neretve i Trebišnjice, vode i o vodi ovisni ekosustavi, čine vrijednu osnovu gospodarskog razvitka obje zemlje. Na području sliva živi oko 430.000 stanovnika, od čega 35.000 u Hrvatskoj, 87.000 u Republici Srpskoj, i 308.000 u Federaciji Bosne i Hercegovine). Gospodarska struktura područja je u velikoj mjeri izmijenjena u odnosu na prethodno, prijeratno razdoblje. Poljoprivredna proizvodnja u delti Neretve je bitno smanjena, između ostalog, i zbog zaslanjivanja tla. Za cijelo područje je karakterističan problem depopulacije i nedovoljnog gospodarskog razvitka.

4. CILJ PROJEKTA

Cilj projekta je:

- poboljšati kvantitativno - kvalitativno stanje rijeka Neretve i Trebišnjice osobito u smislu postizanja dobrog ekološkog stanja površinskih i količinskog i kemijskog stanja podzemnih voda
- sačuvati biološku raznolikost vodnih i o vodi ovisnih ekosustava i
- unaprijediti aktivno uključivanje javnosti u postupak planiranja i odlučivanja.

5. OČEKIVANI REZULTATI PROJEKTA

Očekivani rezultati projekta su:

- pripremljeni i prihvaćeni planovi upravljanja vodnim područjima (po državama i entitetima) kao i Okvirnog (usklađenog) plana,
- pripremljen i prihvaćen plan upravljanja močvarnim područjima,
- izgrađeni uređaji za pročišćavanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda i
- usuglašeni informacijski sustav s usklađenim sustavom monitoringa.

Projekt se sastoji od 4 komponente:

1. Poboljšano upravljanje prekograničnim vodnim resursima – Komponenta obuhvaća sljedeće aktivnosti:

- jačanje postojeće institucionalne strukture kako bi mogla odgovoriti vrlo složenim zahtjevima upravljanja prekograničnim vodama i o vodi ovisnim ekosustavima krških slivova rijeka Neretve i Trebišnjice;

- uspostavljanje usklađenog informacijskog sustava voda i monitoringa;
- priprema i prihvaćanje Okvirnog (usklađenog) plana upravljanja vodnim područjem Neretve s Trebišnjicom.

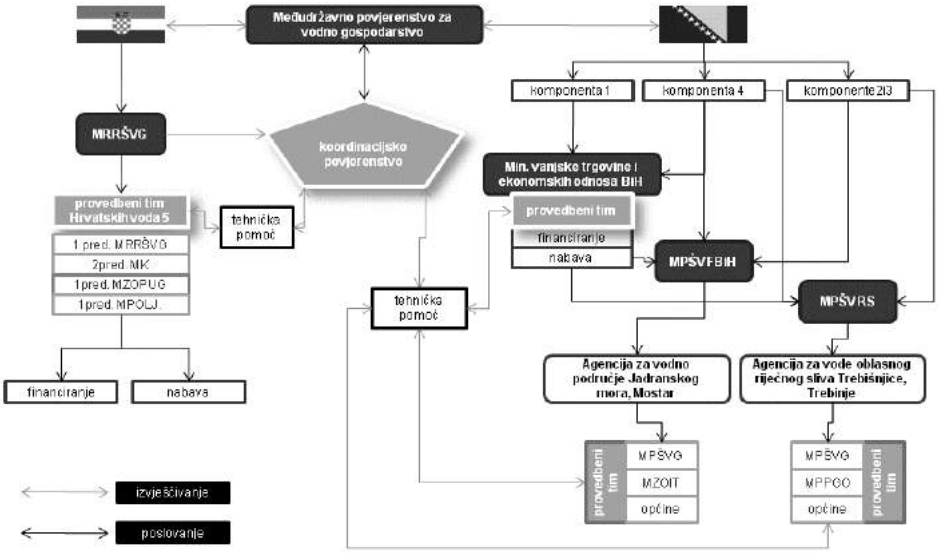
2. Poboljšano upravljanje i korištenje ekoloških sustava i biološke raznolikosti – Osnovni zadatak aktivnosti predviđenih ovom komponentom projekta je očuvanje i unapređenje stanja o vodi ovisnih ekosustava i njihove biološke raznolikosti u skladu sa preporukama Okvirne direktive o vodama. Predloženi program aktivnosti je sistematiziran u tri dijela (podkomponente):
- unapređenje upravljanja osjetljivim ekosustavima;
- ulaganje u vodnu infrastrukturu;
- unapređenje upravljanja akumulacijama.

3. Visoko prioritetna ulaganja u kontrolu onečišćenja voda – aktivnosti planirane ovom komponentom se odnose na direktno smanjivanje unosa onečišćenja komunalnim i industrijskim otpadnim vodama. Planirana je izgradnja odgovarajućih, ekonomski prihvatljivih tehnoloških rješenja pročišćavanja otpadnih voda za tri komunalna sustava odvodnje i jednog industrijskog postrojenja u BiH. Aktivnosti su sistematizirane u tri grupe:
- unapređenje pročišćavanja komunalnih otpadnih voda;
- unapređenje pročišćavanja industrijskih otpadnih voda;
- unapređenje kapaciteta laboratorija koje obavljaju monitoring kakvoće voda.

4. Sudjelovanje javnosti i upravljanje provedbom Projekta – ovom komponentom su obuhvaćene aktivnosti koje imaju zadatak unaprijediti sudjelovanje javnosti u postupku donošenje vodnogospodarskih odluka, odnosno dati prijedlog mehanizama kojim bi se aktiviralo odgovorno upravljanje resursima na lokalnoj razini. Komponentom su obuhvaćene aktivnosti koje se odnose na samu provedbu Projekta. Aktivnosti su grupirane u tri podkomponente:
- Razvoj sudjelovanja javnosti u procesu donošenja odluka;
- Uključivanje civilnog društva u procese upravljanja vodama;
- Podrška provedbi, upravljanju i koordiniranju Projekta.

6. PROVEDBA PROJEKTA

Okvir provedbe Projekta je načelno definiran u Dokumentu o procjeni projekta, a detaljno u Ugovoru o darovnici, Ugovoru o projektu i Mamorandumu o razumijevanju između RH i BiH i sistematiziran je u priloženoj shemi organizacijskog ustroja na slici 2.



Slika 2. Shema organizacijskog ustroja provedbe Projekta

Projekt će se provodi u razdoblju od 5 godina, tj. od rujna 2008. do prosinca 2013. godine. Financira se sredstvima dvije darovnice Globalnog fonda za okoliš (GEF-a) dodjeljenih RH i BiH putem Svjetske banke kao Provedbene agencije, vlastitim sredstvima obje države i sredstvima krajnjih korisnika, uz zajedničku provedbu dijela aktivnosti.

Radi koordinacije i praćenja provedbe zajedničkih aktivnosti obje države su formirale Koordinacijsko povjerenstvo koje izvještava Povjerenstvo za vodno gospodarstvo RH i BiH o napredovanju provedbe zajedničkih aktivnosti

U Bosni i Hercegovini je za cjelokupnu provedbu projekta nadležno Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa pri kojem je formiran Tim za upravljanje Projektom. Dva entitetska ministarstva nadležna za upravljanje vodama su odgovorna za provedbu projektnih aktivnosti u entitetima preko svojih Timova za provedbu Projekta.

U Hrvatskoj je za provedbu projekta nadležno Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, a provedbena agencija su Hrvatske vode. Tim za provedbu Projekta osnovan je u Hrvatskim vodama uz potporu stručnjaka iz Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, Ministarstva zaštite okoliša, prostornog planiranja i graditeljstva, Ministarstva poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja i Ministarstva kulture.

7. PRAVNI OKVIR PROJEKTA

Pravni okvir realizacije Projekta, uz vodni acquis EU, multilateralne sporazume, te nacionalne propise, čine i:

- Memorandum o razumijevanju o provedbi zajedničkih aktivnosti u sklopu Projekta upravljanja Neretvom i Trebišnjicom između Hrvatske i Bosne i Hercegovine

- za Republiku Hrvatsku
  - Ugovor o Darovnici između Svjetske banke i Republike Hrvatske (Ministarstva financija)
  - Ugovor o Projektu između Svjetske banke i Hrvatskih voda
  - Supsidijarni ugovor između Ministarstva financija i Hrvatskih voda, koji definira:
    - Ovlasti ministarstava
    - Obveze osiguravanja sredstava - doprinos države po ministarstvima, te
    - Nadzor nad provedbom Projekta.
- za Bosnu i Hercegovinu
  - Ugovor o Darovnici između Svjetske banke i Bosne i Hercegovine (Ministarstva finansija i trezora BiH)
  - Ugovor o Projektu između Svjetske banke i entitetskih vlada

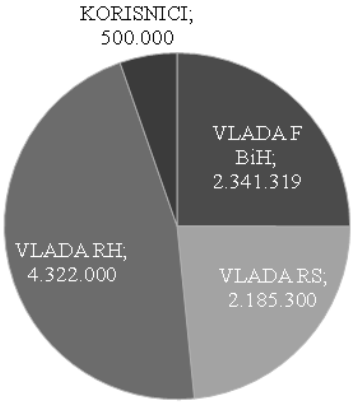
8. FINANCIJSKI OKVIR PROJEKTA

Ukupna vrijednost Projektom predviđenih aktivnosti iznosi oko 17,3 milijuna USD. Preko 50% ukupnog iznosa odnosno oko 9 milijuna USD će se investirati u izgradnju i obnovu uređaja za pročišćavanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda, što je ocijenjeno prioritetnim zahvatima zaštite voda sliva rijeka Neretve i Trebišnjice.

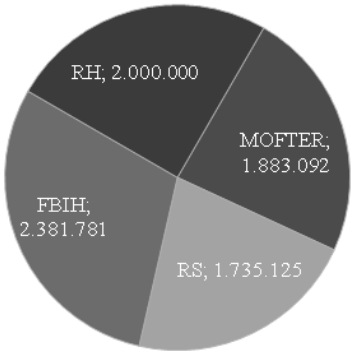
Ukupan iznos predviđenih troškova od 17,4 milijuna USD će se financirati sredstvima:

- GEF darovnice u ukupnom iznosu od 8 milijuna USD,
- Doprinosom vlada Federacije BiH, Republike Srpske i Republike Hrvatske,
- Sudjelovanjem lokalnog stanovništva – jedinica lokalne samouprave, te
- Sredstvima krajnjih korisnika.

Oko 46% troškova projekta će se financirati sredstvima GEF-a, oko 3% sedstvima krajnjih korisnika, dok će se prostalih 51% financirati proračunskim sredstvima vlada Federacije BiH (13%), Republike Srpske (13%) i Republike Hrvatske (25%), slike 3 i 4.

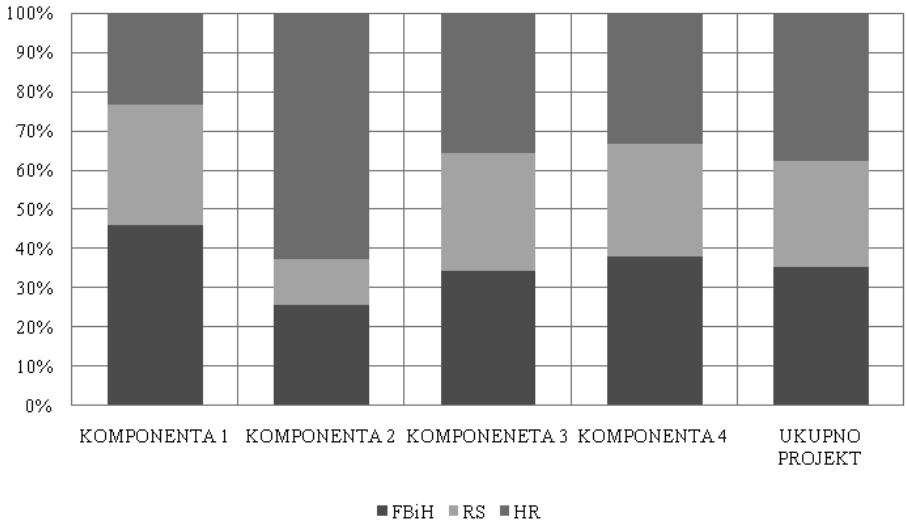


Slika 3 Financijski doprinos država u provedbi projekta (ukupno 9,3 mil.USD)



Slika 4 Raspodjela sredstava GEF darovnice (ukupno 8 mil. USD)

Oko 35% ukupno predviđenih sredstava će se uložiti u projekte i aktivnosti koje će se realizirati na teritoriju Federacije BiH, oko 27% na teritoriju Republike Srpske i oko 38% na teritoriju Republike Hrvatske (slika 5).



Slika 5. Omjeri financiranja po komponentama Projekta

LITERATURA

[1] Projekt upravljanja Neretvom i Trebišnjicom, Operativni priručnik, 2008.

AUTORI

mr.sc. Miroslav Steinbauer, dipl.ing.građ.[a], Mario Obrdalj, dipl.ing.građ.[b], mr.sc. Sanja Barbalić, dipl.ing.građ.[c], Nataša Gecan, dipl.ing.građ.[d]

[a] Cernićka 21, 10000 Zagreb, Hrvatska, mirosteinbauer@xnet.hr

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000, Hrvatska, mario.obrdalj@voda.hr

[c] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000, Hrvatska, sanja.barbalic@voda.hr

[d] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000, Hrvatska, natasa.gecan@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.06

PREGRAĐIVANJE RIJEKE NERETVE

Mijo Vranješ, Davor Romić

SAŽETAK: Da bi se osigurala dovoljna količina nezaslanjene vode za potrebe navodnjavanja i ispravnih ekoloških prilika u donjoj Neretvi, kao izvor dostatnih količina je rijeka Neretva. Rijeka je pod utjecajem mora sve do Metkovića, zbog čega je zaslanjena naročito ljeti kad su potrebe za vodom najnaglašenije. U samom koritu rijeke potrebno je izgraditi odgovarajuću građevinu kojom će se spriječiti zaslanjivanje. Izbor pregradnog profila kao i samo rješenje brane vrlo je složena zadaća, gdje je nužno rješenjem zadovoljiti niz uvjeta. Rijeka je plovna sve do Metkovića, pa se mora osigurati prolaz brodovima. Cijela dolina ima vrlo niske kote terena, tako da je otežana obrana od poplava, a građevinom u koritu rijeke se ne smije pogoršati stanje. Cijeli prostor krajobrazno je vrlo vrijedan i brana se mora lijepo uklopiti u njega. Upravljanje objektom u funkcionalnom smislu mora biti jednostavno. Proučavanjem nekoliko mjesta pregrađivanja i više koncepata rješenja brane izabrano je optimalno rješenje, koje je provjereno na fizikalnom modelu.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Neretva, zaslanjivanje, pokretna brana, fizikalni model

CONSTRUCTION OF THE BARRIER IN THE NERETVA RIVER

SUMMARY: The Neretva River is the source of sufficient quantities of freshwater for purposes of irrigation and provision of satisfactory environmental circumstances in the area of Lower Neretva. The river is under the sea impact all the way to the town of Metković. The seawater intrusion is the most pronounced in summer when needs for water are the greatest. Therefore, a structure shall be constructed within the Neretva River bed to prevent salt water intrusion. Selection of the respective river section and the barrier is a very complex task and several requirements shall be satisfied. The river is navigable all the way to Metković; thus, a passage for vessels shall be secured. The entire valley is at low elevation, which complicates flood protection measures. Also, a structure in the river bed shall not deteriorate that condition. The entire area is very valuable in terms of the landscape and the barrier shall fit in visually. Structure management shall be easy in terms of functionality. Several locations and barrier concepts were selected and evaluated. An optimum solution was selected and tested on a physical model.

KEY WORDS: the Neretva River, salt water intrusion, mobile barrier, physical model

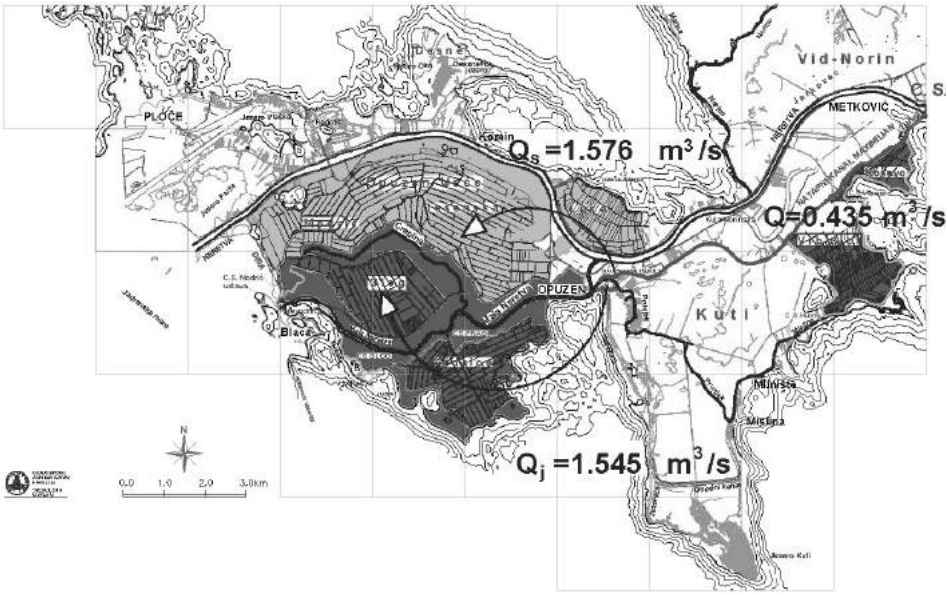
1. UVOD

Izgrađenost na slivu rijeke Neretve bitno je promijenila režim otjecanja prema moru, pa tako i tečenje u samoj rijeci. Hidroenergetski sustav ublažio je neravnomjernost protoka. U prirodnim uvjetima, prije izgrađenosti, ekstremi su bili veći. Poplavne vode su bile veće, a sušni protoci znatno manji. Sve promjene otjecanja sa sliva najsnažnije se vide u donjem toku, tj. u području delte rijeke Neretve. Osim promjene toka u rijeci, još više se promijenio režim tečenja na izvorima koji su raspoređeni po rubu doline (donje Neretve). Dotok na izvore s viših dijelova sliva osjetno se smanjio. To je naročito istaknuto po rubu područja Kuti. I taj smanjeni dotok nezaslanjene vode u područje donje Neretve kroz nekoliko proteklih desetljeća uzrok je povećanog prodora mora.

Odslanjivanje tla na melioriranim površinama trajalo je dugo i sad zbog poremećenog odnosa nezaslanjenei zaslanjene vode postoji velika opasnost ponovnog zaslanjenja obradivih površina. Osim melioriranih površina zaslanjuje se i ostali dio doline. Da bi se održalo prihvatljivo stanje nužno je cijelim područjem donje Neretve gospodariti (upravljati procesima).

Rješavanje mnogih zadaća, npr. navodnjavanja, vodoopskrbe, zaštite prirode i okoliša, urbanizacije, obrane od poplava i sl., zahtjeva multidisciplinaran pristup uz uravnotežen razvoj svih sastavnica prostora. A sve je ovisno o vodnom režimu otjecanja sa sliva prema moru.

Navodnjavanje melioriranih površina u donjoj Neretvi rješava se u okvirima NAPNAV-a, tako da je to proglašeno Pilot projektom (jedan od 4 u RH). Navodnjavaju se samo melioririrane (uređene površine). Na slici 1 označene su površine predviđene za navodnjavanje.

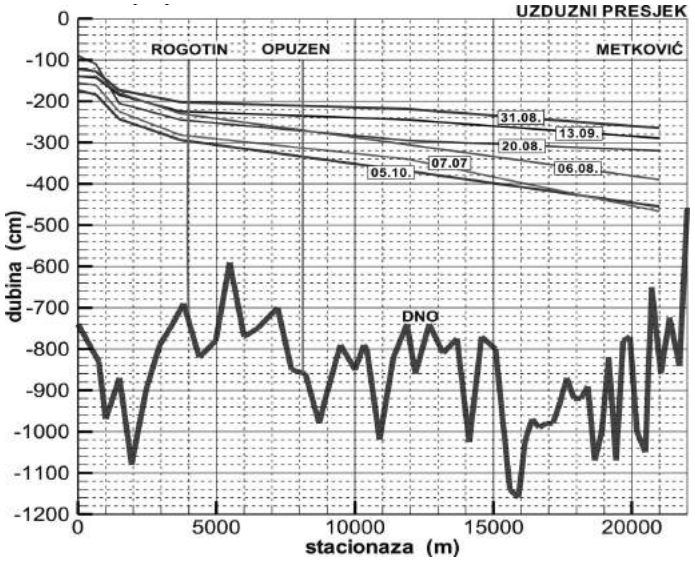


Slika 1. Predviđene površine za navodnjavanje

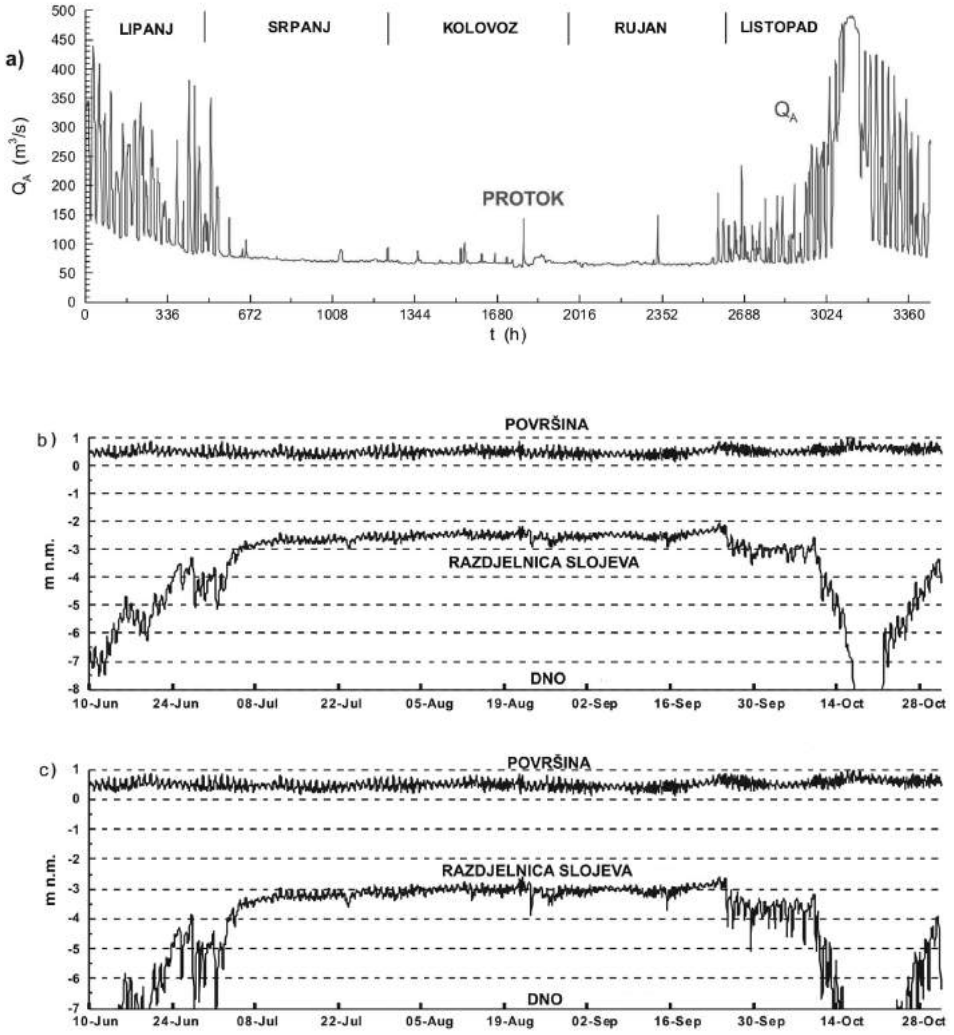
U studiji i u Idejnom rješenju (Romić i Vranješ, 2006) dano je rješenje navodnjavanja. Dovoljna količina vode, 3.5 do 4.0 m^3/s, može se dobiti jedino iz rijeke Neretve, uz uvjet da se spriječi prodor mora (slani klin) u korito rijeke. To se može postići izgradnjom odgovarajuće brane. Međutim, branom se ne smije otežati ili spriječiti plovnost do luke Metković i ne smiju se pogoršati uvjeti obrane od poplava za vrijeme velikih voda u zimskom razdoblju. U zimskom razdoblju, kad nema navodnjavanja, brana je u otvorenom položaju. U ljetnom razdoblju, kad se navodnjava, brana je u zatvorenom položaju. U tom položaju cijelo vrijeme mora propuštati protok koji teče rijekom Neretvom. Zbog promjenjivosti protoka te utjecaja plime i oseke brana se mora automatski prilagođavati tim uvjetima (samoregulirajuća). Dakle, postavljeni su zahtjevni i suprotstavljeni kriteriji funkcioniranja, a to znači i težak izbor odgovarajućeg tehničkog rješenja.

2. ZASLANJIVANJE RIJEKE

Višegodišnjim istraživanjem prodora mora u područje donje Neretve (Vranješ i ost., 1996 do 2004), (Vranješ i ost., 2009), (Romić i Vranješ, 2009. i 2010) utvrđeno je da se u rijeci javlja uslojeno stanje nezaslanjene vode koja teče iznad mora uvučenog u rijeku. Na osnovi toga je razvijen numerički model (Ljubenkov i ost., 2008) za takvo tečenje i koji je kalibriran na stanje u 2004. godini, kad su provedena vrlo detaljna mjerenja. Na slici 2 je u uzdužnom presjeku prikazana izmjerena razdjelnica slojeva, koja se tijekom godine pomiče ovisno o dotoku. Pokazano je da odnos „klina“ mora i nezaslanjene vode ovisi ponajviše o dotoku s uzvodnog dijela. Razine mora (plima-oseka) znatno manje utječu. Kad protok premaši oko 400 m^3/s more je potpuno istisnuto iz rijeke (slika 3). Kako je u ljetnom (sušnom) razdoblju protok dosta manji, 70 do 100 m^3/s, more se uvuče u rijeku uzvodno do Metkovića, čak nešto uzvodnije. Na slici 3 se vrlo dobro vidi da je u zimskom i proljetnom vremenu more vrlo nisko u koritu, dok je ljeti blizu površine. Krajem listopada protok je povećan i more je ponovo potisnuto niže ili potpuno izvan korita.



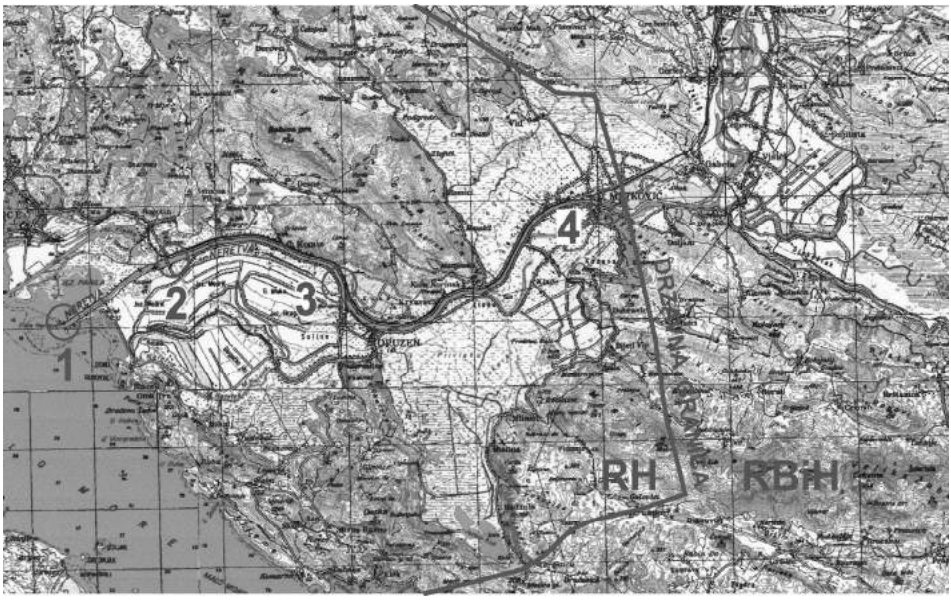
Slika 2. Uzdužni presjek Neretve s izmjerenom razdjelnicom slojeva u 2004. godini



Slika 3. Rezultati numeričkog modela
a) Protok u rijeci Neretvi
b)Vodostaj i razdjelnica u Opuzenu
c) Vodostaj i razdjelnica u Metkoviću

3. MOGUĆI POLOŽAJ I RJEŠENJE BRANE

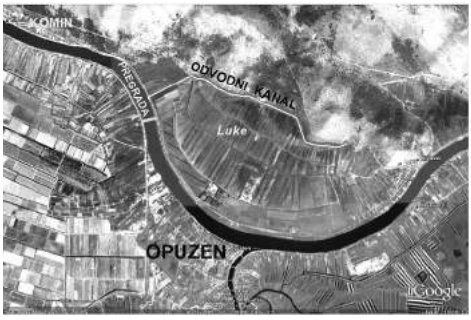
Na osnovi poznatog procesa prodora mora u Neretvu može se izraditi učinkovito rješenje brane. Pri tomu se moraju uvažiti prethodno spomenuti uvjeti. Analizirano je nekoliko mjesta pregrađivanja (slika 4).



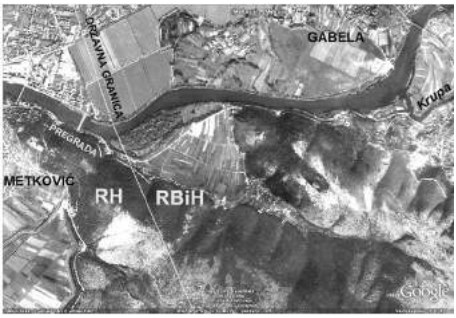
Situacija donje Neretve

Položaj 1

Položaj 2



Položaj 3



Položaj 4

Slika 4. Moguća mjesta pregrađivanja

Najteže i najskuplje rješenje spriječavanja prodora mora u rijeku je na samom ušću u more, položaj 1 na slici 4. Na tom mjestu more je vrlo blizu površine (vidi sliku 2), tako da se ne može primijeniti rješenje u kojem bi se brana pomicala za svaki prolaz broda. Za prolaz brodova moraju se uz branu izgraditi brodske prevodnice. Zbog različitih veličina brodova predviđene su dvije prevodnice, veća i manja. Brana je u zatvorenom položaju za vrijeme trajanja navodnjavanja ljeti, dok se u zimskom razdoblju otvara.

Postoje i druge poteškoće. Za navodnjavanje najvećeg dijela površina na lijevoj obali (slika 1) voda se uzima iz Male Neretve. Zato je potrebno usmjeriti dio toka iz Neretve u Malu Neretvu, a to se postiže odgovarajućim podizanjem razine (uspor) u Neretvi. Zbog udaljenosti ušća od utoka u Malu Neretvu kod Opuzena na brani bi se morala uspostaviti razina oko 1 metar iznad razine mora. Taj uspor seže uzvodno i iščezava negdje oko Metkovića, što opet ovisi o dotoku rijekom s uzvodnog dijela. Nizvodno od Komina, usporedno s područjem Desne, na desnoj obali postoji spoj Crne rijeke (starorječje) s Neretvom. Uspor iz Neretve prenio bi se u vodotoke na desnoj obali, tako da postoji opasnost zamočvarenja niskih terena u području Desne i uz Crnu rijeku. Činjenica je da se sve više zaslanjuje i voda i tlo na tom području. Usmjeravanjem toka nezaslanjene vode iz Neretve prema tom području može se spriječiti zaslanjivanje. Uz branu na ušću Neretve potrebno je zaustaviti prodor mora kroz Crnu rijeku izgradnjom brane na njezinom ušću, koja također mora biti samoregulirajuća. Podignuti vodostaj u rijeci Neretvi prenio bi se na cijelo područje Desne i u korito Crne rijeke, pa bi se zamočvario široki prostor desnog zaobalja zbog niskih kota terena. Zato se mogućnost pregrađivanja Neretve na ušću mora rješavati u sklopu cjelokupnog uređenja područja donje Neretve, a ne samo kroz projekt navodnjavanja (Pilot projekt).

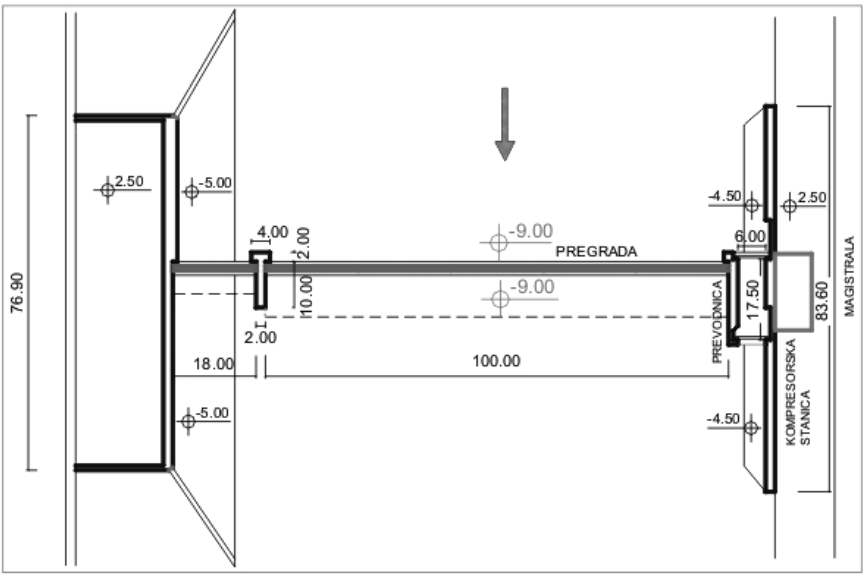
Da bi se izbjeglo snažno djelovanje mora, mjesto pregrađivanja može se pomaknuti uzvodnije. Razmatrana je mogućnost izgradnje nešto uzvodnije od rogotinskog mosta, položaj 2 na slici 4. Propuštanje brodova moguće je pomicanjem brane. Kako je i tu more blizu površine i relativno blizu ušća za vrijeme prolaza brodova (pomaknuta brana) uzvodno bi „pobjegla“ velika količina mora. I ostale poteškoće, koje su opisane za pregrađivanje na položaju 1 sa slike 4, javljaju se na ovom mjestu.

Budući da se pregrađivanje planira u okviru rješavanja navodnjavanja, što je primarna funkcija brane, logično je da se traži optimalno mjesto sukladno cjelokupnom rješenju sustava navodnjavanja. Kako je Mala Neretva glavni vodotok (rezerva) za zahvat vode, potrebno je u taj vodotok dovesti dovoljnu količinu nezaslanjene vode. Zato je pregradno mjesto odabrano 1.8 km nizvodno od Opuzena, a uzvodno od odvodnog kanala područja Luke, položaj 3 na slici 4. Vodilo se računa da se podizanjem razine vode ne potopi odvodni kanal. Brana je pomična i na tom mjestu se predviđa podizanje razine za 50 do 60 cm u odnosu na sadašnje (neizgrađeno) stanje. Zbog blizine brane i utoka u M. Neretvu, moguće je usmjeriti tečenje u nju. Isto tako, moguće je razvođenje nezaslanjene vode gravitacijski (bez dodatnog utroška energije) po cijelom području.

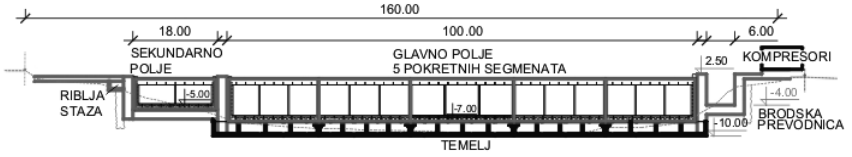
Kako je sve teže stanje vodnog režima u Hutovom blatu (Republika Bosna i Hercegovina), a koje je dio donje Neretve, razmišljalo se o pomičnoj brani u profilu Dračevo (susjedna država), kojom bi se kroz rijeku Krupu dio protoka iz Neretve usmjerio prema tom području. Na tragu ove zamisli moglo bi se branu postaviti u Metkoviću, nešto uzvodnije od mosta, mjesto 4 na slici 4. Međutim, zbog velike udaljenosti od obradivih površina, vrlo kompliciran i skup je dovod vode do njih. Osim toga, ovo bi bio međudržavni projekt, za čiju izgradnju treba puno više vremena i gdje je upravljanje objektom te održavanje znatno složenije.

4. IZBOR TEHNIČKOG RJEŠENJA BRANE

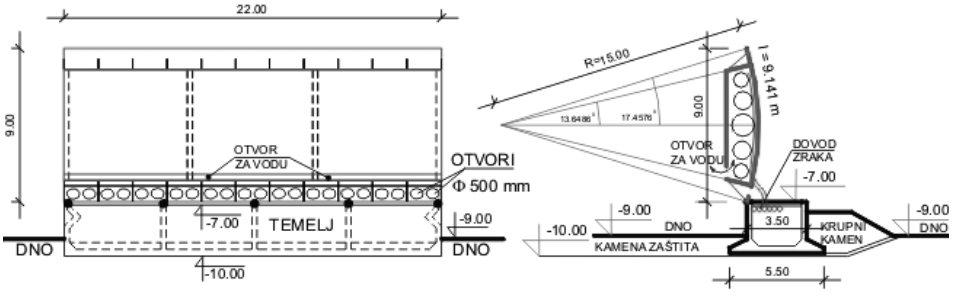
Brana je sastavni dio sustava navodnjavanja, pa je odlučeno da se gradi na mjestu 3 kod Opuzena. Sukladno prethodno postavljenim uvjetima, odabran je koncept rješenja prikazan na slici 5. Radi se o specifičnom i rijetkom rješenju (Vranješ, 2007). Nešto slično idejno je zamišljeno za obranu Venecije od visokih razina mora (Jongeling, 1993), (Reina, 2008) ili npr. rješenje zaštite od valova cunamija (Kenichiro i ost., 2007), (Osamu i ost., 2007).



a) tlocrt brane



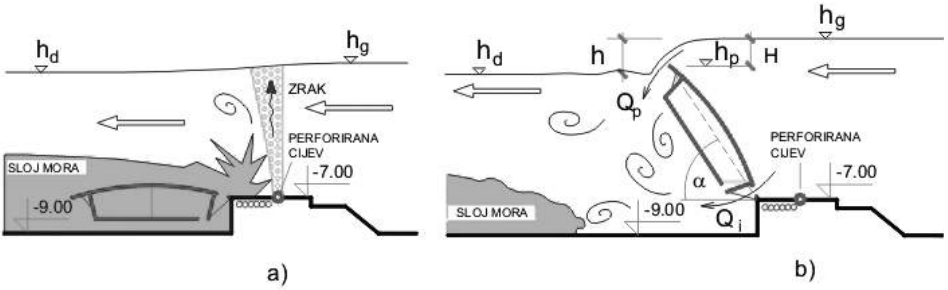
b) *uzdužni presjek brane*



c) pogled s nizvodne strane i poprečni presjek srednjeg segmenta

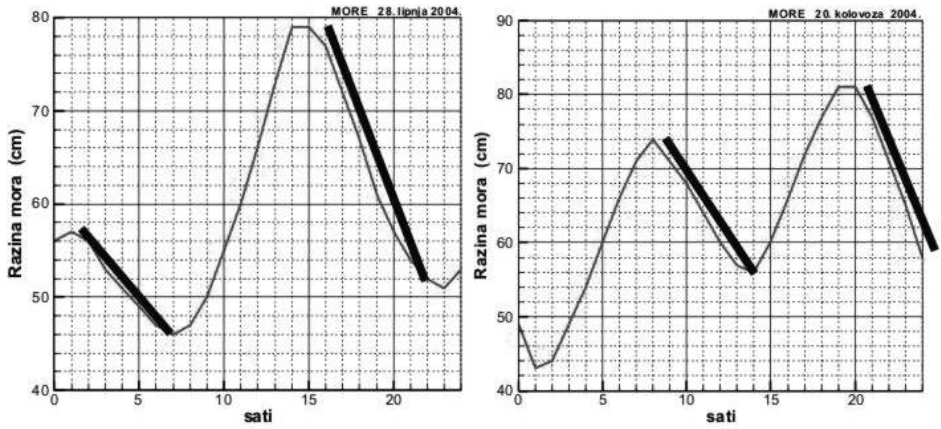
Slika 5. Rješenje brane

Nakon sveobuhvatnog ispitivanja koncepta rješenja po svim elementima, a naročito u funkcionalnom smislu, odabrano je jednostavno rješenje i vrlo učinkovito. Na betonski nepomični dio konstrukcije (temelj) zglobno se vezuje pokretni dio, koji se spušta na dno i podiže u uspravan položaj. U glavnom polju pokretni dio brane se sastoji od pet segmenata (dijelova) oblikovanih kao „riblji trbuh“, dimenzija 22x9 m. U manjem polju je jedan segment, dimenzija 18x7 m. Za prolaz manjih plovila predviđena je brodska prevodnica na lijevoj obali, a za ribe riblja staza na desnoj obali. Brana se otvara spuštanjem segmenata na dno. Podizanje i spuštanje izvodi se upuhivanjem odnosno ispuštanjem zraka iz unutrašnjosti segmenata. Kad su svi segmenti postavljeni u uspravan položaj, protok koji dolazi s uzvodnog dijela rijeke preko brane dijelom se prelijeva i dijelom istječe kroz niz otvora na donjem rubu segmenata. Na taj način je osigurana protočnost kroz branu, uz podizanje razine za h=50 do 60 cm, što ovisi o količini vode koja dotječe s uzvodnog dijela rijeke. Kad je brana uspravljena i nakon uspostavljanja uspora **h** uzvodno od brane dobije se gradijent toka tako da je moguće vodu gravitacijski razvoditi po cijelom području prema potrebi za sve vodoprivredne i ekološke zadaće, a ne samo za navodnjavanje. Preljevni mlaz i mlaz koji istječe nizvodno od brane uzrokuju snažnu turbulenciju, pa se razbija sloj mora što se uvukao u rijeku sve do brane (slika 6). Tako razbijen i izmiješan sloj tok odnosi nizvodno. Na taj način u potpunosti je spriječen prodor mora uzvodno.



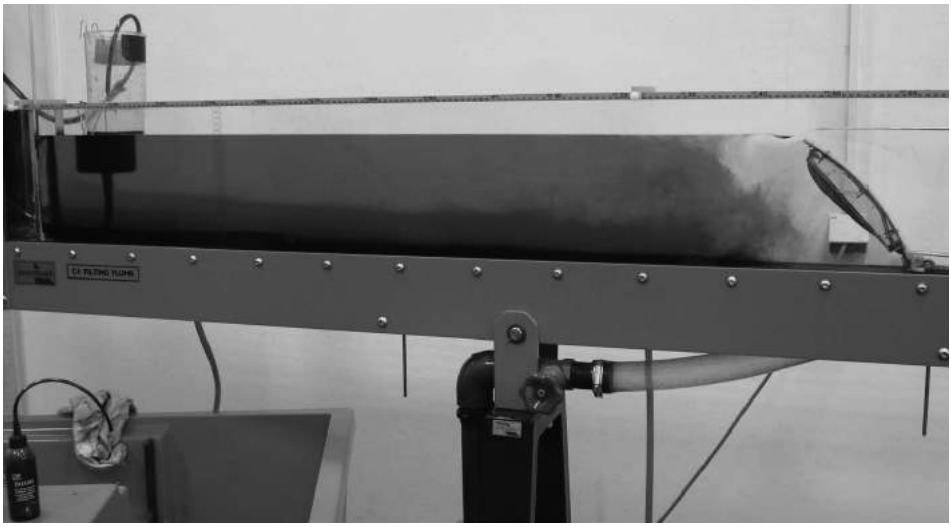
Slika 6. Prolaz protoka kroz branu; a) brana spuštena, b) brana uspravljena

U zatvorenom (uspravljenom) položaju segmenti se, preko ravnotežnog momenta svih sila, koje na njih djeluju oko zglobnog pričvršćenja, automatski postavljaju pod djelovanjem promjenjivog protoka te plime i oseke, pa nije potrebno ugrađivanje dodatne regulacijske opreme. Da bi se smanjila opasnost prodora mora u rijeku uzvodno od brane za vrijeme prolaza broda, nužno je propisati pogonskim previlnikom u kojem vremenu se propušta brod. Najpovoljnije je vrijeme kad se more povlači od plime prema oseci, što je prikazano na slici 7. U tom razdoblju „klin“ mora u rijeci se pomiče u nizvodnom smjeru. Uz to se brzim otvaranjem brane naglo prazni akumulirana voda zbog uspora, pa se protok znatno poveća te istiskuje more iz korita rijeke nizvodno od brane.



Slika 7. Razdoblje otvaranja brane

Prikazano rješenje rezultat je istraživanja niza varijanti na fizikalnom modelu. Model detalja izabranog rješenja prikazan je na slici 8.



Slika 8. Model detalja pomičnog dijela brane

ZAKLJUČAK

Uređenje i gospodarenje područjem donje Neretve izuzetno je složena zadaća, koja traži multidisciplinaran pristup. Budući da je sliv Neretve na području dviju država riječ je o prekograničnom vodotoku, pa je postupak upravljanja slivom odgovarajuće složeniji. Izgrađenost na slivu dosta je promijenila režim otjecanja pale oborine prema moru i nemoguće je vratiti stanje kakvo je bilo prije nekoliko stoljeća. Moramo se prilagoditi novonastalim uvjetima. U tom smislu planira se sustav navodnjavanja u kojemu je pre-

građivanje rijeke pokretnom branom centralni dio rješenja. Time se osigurava dovoljna količina nezaslanjene vode za sve potrebe u području, a koja sad nekontrolirano otječe u more. Podignuta razina vode uzvodno od brane omogućava gravitacijsko razvođenje vode bez trošenja energije za crpljenje. Isto tako to nadvišenje suprotstavlja se prodoru mora u područje.

Predloženo tehničko rješenje jednostavno je u pogonskom smislu. Upuhivanjem zraka u segmente oni se automatski postavljaju u uspravan položaj prilagođen dotoku te plimi-oseci. Podizanje i spuštanje teških čeličnih segmenata velikih dimenzija jednostavno se provodi korištenjem uzgonske sile, odnosno punjenjem segmenata zrakom-vodom. Ovakvim konceptom izbjegnuta su rješenja s teškim i glomaznim uređajima za podizanje zatvarača. Nije potrebno posebno nekakvim uređajima prilagođavati položaj. Brana je samoregulirajuća. Pri većim dotocima gornji rub (preljev) se automatski postavlja u niži položaj, a pri manjim u viši. Cijelo vrijeme, bez obzira da li su zapornice spuštene, u fazi spuštanja odnosno podizanja ili su postavljene u zatvorenom položaju (podignute), protok koji dolazi s uzvodnog dijela protječe kroz pregradno mjesto prema moru. Ne mijenja se tečenje rijekom, osim kad se brana otvara i kad se znatno poveća protok koji istiskuje more iz korita rijeka, a to je poželjna situacija. Istiskivanje mora iz korita rijeke na ovaj način je poželjno i vrlo korisno.

Brana je niska i većim dijelom se ne vidi. Preljevanje vode preko gornjeg ruba segmenata stvara relativno nisku kaskadu koja se lijepo uklapa u prostor.

Stanje na samom ušću može se popraviti tako da se obnovi sprud „Škanj". Već je rečeno da su na slivu nastale velike promjene. Na žalost i s negativnim posljedicama, barem što se tiče delte. Smanjio se donos nanosa, tako da se delta praktično povlači prema kopnu i cijela dolina se sliježe. Zbog toga je i obnavljanje spruda na prirodan način gotovo nemoguće. Stabilizacija na strani prema moru dobro bi došla i eventualno nabacivanje refuliranog materijala s dna u okolišu Škanja. Međutim i dalje je potrebno uz sjeverni rub spruda održavati plovni kanal za brodove koji uplovljavaju u Neretvu. Upravo kroz taj kanal (plovni put) glavni je koridor kojim more ulazi u rijeku Neretvu. Zato obnavljanjem samo spruda neće se bitno promijeniti prodor mora u korito Neretve. Jedino i učinkovito rješenje je brana.

LITERATURA

[1] Arita, M., Jirka, G.H., (1987.a): *Two-Layer Model of Saline Wedge. I: Entrainment and Interfacial Friction*, Journal of Hydraulic Engineering 113 (10), 1229-1248.

[2] Arita, M., Jirka, G.H., (1987.b): *Two-Layer Model of Saline Wedge. II: Prediction of Mean Properties*, Journal of Hydraulic Engineering 113 (10), 1249-1263.

[3] Chen, X., (2004): *Modeling hydrodynamics and salt transport in the Alafia River estuary, Florida during May 1999 – December 2001*, Estuarine, Coastal and Shelf Science 61, 477-490

[4] Day, Jr. J.W., Maltby, E., Ibanez, C., (2006): *River basin management and delta sustainability: A commentary on the Ebro Delta and the Spanish National Hydrological Plan*, Ecological Engineering 26, 85-99.

[5] Geyer, W.R., Farmer, D.M., (1989): *Tide-Induced Variation of the Dynamics of a*

Salt Wedge Estuary, Journal of Physical Oceanography 19, 1060-1072.

[6] Ibanez, C., Pont, D., Prat, N., 1997. Characterization of the Ebre and Rhone estuaries: A basis for defining and classifying salt-wedge estuaries. Limnol. Oceanogr. 42 (1), 89-101.

[7] Ibanez, C., Saldana, J., Prat, N., (1999): *A Model to Determine the Advective Circulation in a Three Layer, Salt Wedge Estuary: Application to the Ebro River Estuary*, Estuarine, Coastal and Shelf Science 48, 271-279.

[8] Ippen, A. T. (ed), (1966): *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, McGraw-Hill, New York, 744 pp.

[9] Jongeling, T.H.G., (1993.): Wave-iduced resonance of flap-gate barrier, Delft hydraulics, Publication No. 482

[10] Kenichiro, S., Osamu K., Kyouichi N., Hiroshi O. and Iwao H. (2007): *Hydraulic Characteristics of Flap-Gate for Storm Surge and Tsunami Barrier*, Coastal Structures 2007, Proceedings of the 5th Coastal Structures International Coference, Volume I

[11] Kurup, G.R., Hamilton, D.P., Patterson, J.C., (1998): *Modeling the Effect of Seasonal Flow Variations on the Position of Salt Wedge in Microtidal Estuary*, Estuarine, Coastal and Shelf Science 48, 191-208.

[12] Legovic, T., (1991): *Exchange of water in stratified estuary with an application to Krka (Adriatic sea,*. Marine Chemistry 32, 121-135.

[13] Liu, W.C., Chen, W.B., Cheng, R.T., Hsu, M.H., Kuo, A.Y., (2007), *Modeling the influence of river discharge on salt intrusion and residual circulation in Danshuei River estuary, Taiwan*, Continental Shelf Research 27, 900-921.

[14] Ljubenkov, I., Vranješ, M., Andričević, R., (2008): (rad u tisku) *Salt wedge intrusion modeling in the Neretva river estuary*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE

[15] Officer, C.B., (1976): *Physical Oceanography of Estuaries*, John Wiley and Sons. New York, 465 pp.

[16] Osamu K., Kenichirou S., Hideo K., Takamasa U., Keiichi N. and Kyouichi N. (2007): *Behavior of the Flap Type gate for Tsunami,* Coastal Structures 2007, Proceedings of the 5th Coastal Structures International Coference, Volume I

[17] Reina, P., (2008): *Barriers and Gates Take Shape to Protect Venice from the Sea*, ENR: Engineering News-Record, 08919526, 6/16/2008, Svezak. 260, Broj 20

[18] Romić, D. I Vranješ, M., (2006): *Navodnjavanje u donjoj Neretvi,* studija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

[19] Romić, D. I Vranješ, M., (2009): *Monitoring zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve (Izvješće za 2009.),* studija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

[20] Vranješ, M. i ost., (1995/96): *Vodnogospodarsko rješenje i uređenje sliva donje Neretve*, studija (10 knjiga), Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

[21] Vranješ, M. i ost., (1996 do 2004): *Zaštita od zaslanjivanja vode i tla u donjoj Neretvi, razvojno-istraživački projekt* (Hrvatske vode), Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

[22] Vranješ, M. i ost., (1996 do 2004): *Istraživanje prodora mora u deltu rijeke Neretve: znanstvenoistraživački projekt,* (Ministarstvo znanosti i tehnologije RH), Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split

[23] Vranješ, M., (2007): *Brana u rijeci Neretvi, ispitivanje na fizikalnom modelu*, studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

AUTORI

Prof. dr. sc. Mijo Vranješ [1]

prof. dr. sc. Davor Romić [2]

[1] Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, Matice hrvatske 15, 21000 Split, Hrvatska, *vranjes@gradst.hr*

[2] Agronomski fakultet Zagreb, Svetošimunska 25, 10000 zagreb, Hrvatska, *dromic@agr.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.07.

MOGUĆNOSTI POVEĆANJA STABILNOSTI HIDROTEHNIČKIH NASIPA

Goran Gjetvaj

SAŽETAK: Hidrotehnički nasipi se grade za potrebe sprječavanja plavljenja naseljenih područja. Najveći dio godine nisu izloženi djelovanju vode te je tlo u njima nesaturirano. Dolaskom vodnog vala i porasta razine vode sa uzvodne strane dolazi do infiltracije vode u nasip i saturiranja tla na uzvodnoj (riječnoj) strani te napredovanja fronte zasićenja kroz anizotropnu nehomogenu sredinu prema nizvodnoj (zaobalnoj) strani. Ovisno o karakteristikama nasipa i trajanju vodnog vala na zaobalnom pokosu može doći do pojave vrelne plohe. U slučaju da razina vode u vodotoku premaši kotu krune nasipa dolazi do prelijevanja krune nasipa i tečenja po zaobalnom pokosu. Pojava procjednih voda kao i formiranje tečenja po zaobalnom pokosu mogu izazvat progresivnu eroziju tijela nasipa i ugroziti njegovu stabilnost. U radu su prikazane nove spoznaje vezane uz mehanizme progresivne erozije nasipa uslijed prelijevanja kao i faktori koji mogu povećati stabilnosti nasipa na hidrauličku eroziju.

KLJUČNE RIJEČI: nasip, rušenje nasipa, poplave

POSSIBILITIES OF INCREASING HYDRAULIC STABILITY OF EMBANKMENTS

SUMMARY: Embankments are being built for the purpose of preventing flooding of populated areas. Most of the time they are not exposed to water so the soil in embankment is unsaturated. In the period of high waters (flood) on the upstream side infiltration of water into the embankment occurs as well as spreading of saturation front through the anisotropic heterogeneous environment to the downstream side. Depending on the characteristics of the embankment and duration of the flood on downstream side slope surface water may occur. In the case when the water level in the river exceeds the elevation at the crown of the embankment, overflow occurs. The occurrence of water seepage and/or overflow of the embankment can result in progressive erosion of the dike body. This paper presents new insights regarding the mechanisms of progressive erosion of the embankment due to the overflow as well as factors that can increase the stability of the embankment to hydraulic erosion.

KEY WORDS: embankments, progressive erosion of the embankment, floods

1. UVOD

Obzirom da su nizinska područja Republike Hrvatske isprepletena riječnim tokovima, vrlo često su bili izloženi poplavama i velikim materijalnim pa čak i ljudskim gubicima. Tradicija izgradnje obrambenih nasipa u Republici Hrvatskoj traje dvjestotinjak godina. Prvo sustavno rješenje obrane od poplava je provedeno nakon katastrofalne poplave 1964. godine, kada je poplava nanijela ogromne štete gradu Zagrebu. U međuvremenu je sagrađen sustav obrambenih nasipa koji štite veće urbane sredine, a plavljenja se javljaju u uvjetima formiranja otvora u postojećim nasipima.

Do formiranja otvora u hidrotehničkim nasipima može doći uslijed hidrauličke erozije prilikom prelijevanja preko krune ili procjeđivanja kroz tijelo nasipa. Otvori u nasipima izazivaju poplave koje mogu uzrokovati veliku materijalnu štetu kao i gubitke ljudskih života. Poznavanje mehanizama hidrauličke erozije koja formira otvor može se iskoristiti prilikom projektiranja sigurnijih nasipa. Prikupljene spoznaje mogu poslužiti i za predviđanje moguće brzine nastajanja otvora u nasipu kao i odgovarajućeg hidrograma. Vrijeme koje je na raspolaganju za sanaciju inicijalnog otvora je najvažniji parametar za smanjenje materijalne štete i eventualnog gubitka ljudskih žrtava.

Slika 1. Sava je probila nasip kod sela Sop Bukevski u blizini Velike Gorice u rujnu 2010. god.

Vodni val koji je propagirao Savom u rujnu 2010. godine je uzrokovao rušenje nekoliko nasipa (Slika 1) i značajne materijalne štete što je aktualiziralo potrebu prikupljanja spoznaja o uzrocima i mehanizmima formiranja otvora kako bi se izbjegle buduće materijalne štete.

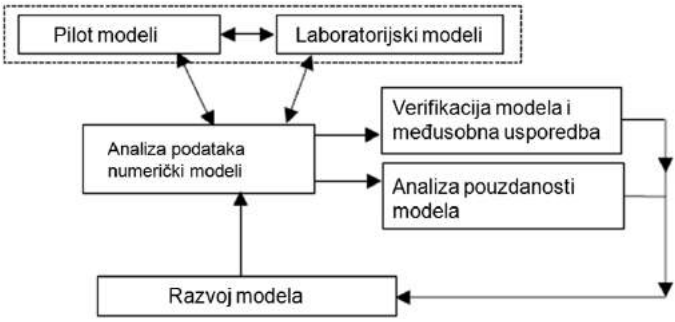
Otvori se najčešće iniciraju prelijevanjem preko krune nasipa pri čemu se u početnoj fazi rušenja voda prelijeva preko krune i erodira nizvodni pokos. Sagledavanje (spoznavanje) mehanizama nastajanja i širenja otvora te njegov matematički zapis i izrada odgovarajućih modela su od velikog značenja za kvalitetno projektiranje nasipa. Razvijene metode modeliranja nastajanja otvora se zasnivaju na odnosu hidrauličkog gradijenta i erodibilnosti materijala iz kojeg je izrađen nasip.

2. MEHANIZMI RUŠENJA HIDROTEHNIČKIH NASIPA

Do rušenja hidrotehničkih nasipa može doći uslijed prelijevanja nasipa kao i uslijed intenzivnog procjeđivanja kroz tijelo nasipa i pojave vrelne plohe na zaobalnoj strani. U nastavku će se razmatrat formiranje otvora kao posljedica prelijevanja. Zbor složenosti mehanizama koji uzrokuju formiranje otvora, većina modela se zasniva na pretpostavci o homogenom nasipu.

Veličina otvora, definirana širinom i visinom, kao i brzina njegovog nastajanja određuju maksimalni protok i oblik izlaznog hidrograma. Metode određivanja izlaznog hidrograma se uglavnom zasnivaju na fizikalnom pristupu kojim se opisuje nastajanje i širenje otvora te pripadajući protok kroz otvor na osnovu hidrauličke erozije materijala od kojeg je nasip sagrađen uvažavajući pri tome zakone hidraulike, pronosa nanosa i geomehanike. Drugi pristup su parametarski modeli koji na osnovu usvojenih parametara za određen tip nasipa usvajaju vrijeme formiranja otvora i njegove dimenzije, te računaju povećanje otvora i protoka u funkciji vremena. Ponekad se koriste i empirijske jednadžbe zasnovane na obradi prikupljenih podataka o formiranju otvora kao i komparativne analize kojima se parametri formiranja otvora procjenjuju na osnovu sličnih a poznatih i dobro evidentiranih slučajeva rušenja.

Najbolji rezultati se dobivaju odgovarajućim kombiniranjem rezultata eksperimentalnih istraživanja na pilot i fizikalnim modelima, teoretskih razmatranja, te numeričkim simulacijama na računalu usmjeravanih iskustvom (slika 2).



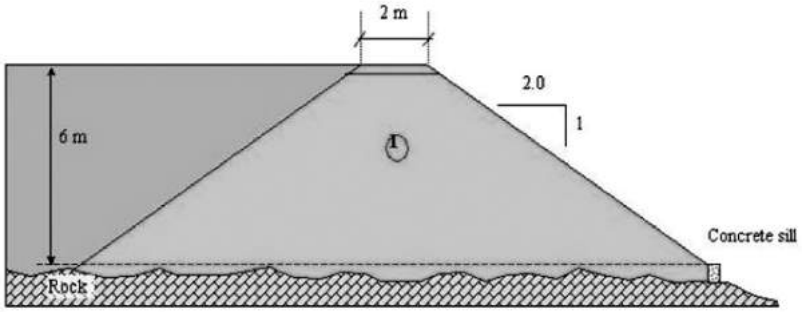
Slika 2. Shema povezanosti numeričkih modela sa laboratorijskim i terenskim istraživanjima (Moriss i sur. 2007)

2.1 Pilot modeli

Mogućnost predviđanja nastanka i razvoja otvora u hidrotehničkim nasipima je relativno ograničena. Glavni razlog tome leži u nedovoljnom poznavanju mehanizama koji uzrokuju eroziju odnosno ispiranje čestica kao i nemogućnosti odgovarajućeg opisivanja hidrauličke erozije materijala iz kojeg je nasip građen. Najpouzdaniji način sagledavanja fizikalnog procesa je izrada fizikalnog modela. Fizikalni modeli se dijele na pilot modele koji se grade u prirodi u mjerilu 1:1 i na laboratorijske modele koji se rade u odgovarajućem mjerilu.

U cilju sagledavanja mehanizama rušenja hidrotehničkih nasipa provedeno je nekoliko značajnih istraživanja među kojima se može istaknut pilot model hidrotehničkog nasipa

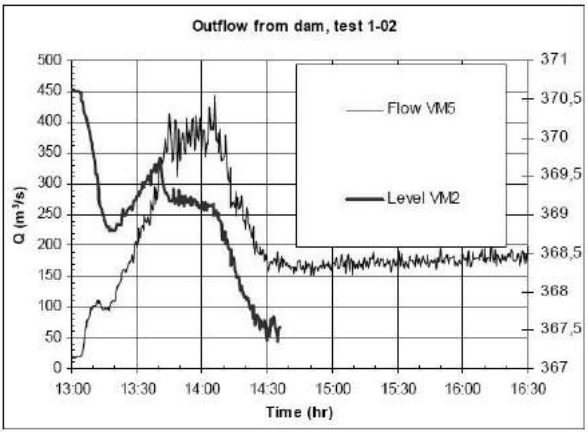
visine 5 – 6m na kojima su ispitivani procesi rušenja odnosno stvaranja otvora u tijelu nasipa u okviru projekta *Stability and Breaching of Embankments Dams* (Hoeg i sur., 2004).



Slika 3. Presjek homogenog glinenog nasipa podvrgnutog rušenju (Hoeg i sur., 2004)

Slika 4. Fotografije nastale za vrijeme testa rušenja glinenog nasipa

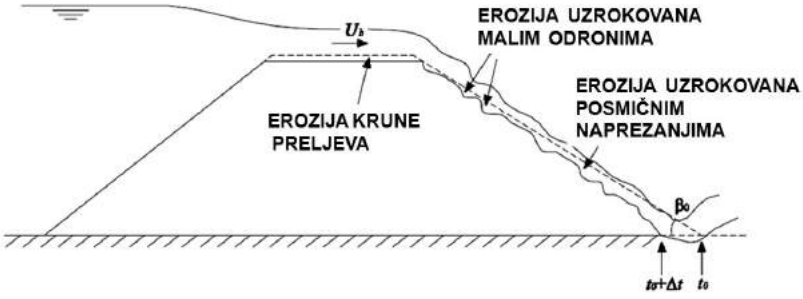
Poprečni presjek ispitivanog homogenog glinenog nasipa je prikazan na slici 3. Kao ciljano mjesto započinjanja formiranja otvora napravljen je usjek u tijelu nasipa u obliku trapeznog kanala dubine 0.5m i širine 3m. Na slici 4 prikazane su četiri fotografije nastale tijekom rušenja nasipa, a na slici 5 prikazan je hidrogram otjecanja.



Slika 5. Hidrogram otjecanja

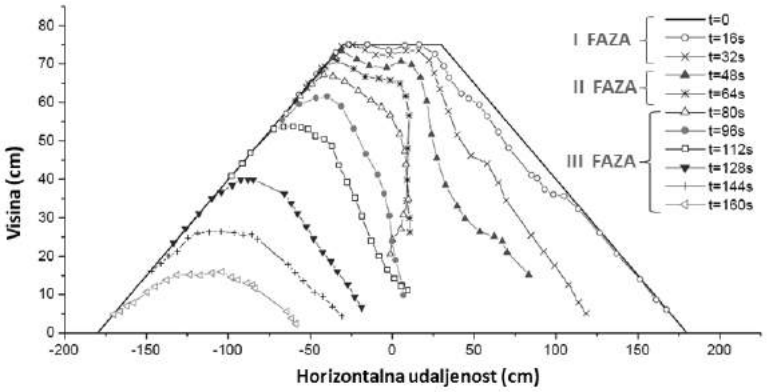
Uslijed prelijevanja preko krune nasipa voda počinje teći po njegovom nizvodnom pokosu povećavajući pritom svoju brzinu (Slika 6). Na određenoj udaljenosti od krune se uspostavlja normalna dubina. U uvjetima kad nizvodni pokos nije previše dugačak, najveća erozivna snaga vode se javlja pri nožici nasipa gdje najčešće i počinje progresivna erozija. Zbog intenzivnije erozije pri nožici nego pri kruni dolazi do povećanja nagiba nizvodnog pokosa. Na taj način dolazi do erozije nizvodnog pokosa pri čemu se, zbog približno konstantne preljevne visine i konstantne veličine otvora, ne mijenja bitno protok kroz otvor.

U trenutku kada uslijed erozije zona erozije dosegne uzvodni rub krune nasipa odnosno uzvodni pokos, proširenje otvora u tijelu nasipa postaje znatno brže. Otvor u tijelu nasipa se širi vertikalno sve do temelja nasipa, a tek onda se nastavlja horizontalno širenje otvora po bokovima. Primijećeno je da su bočne strane otvora u tijelu nasipa prilikom rušenja vertikalne.



Slika 6 Erozija nizvodnog pokosa nasipa (početna faza formiranja otvora) (Zhu, 2006)

Primjer napredovanja erozivnih procesa u profilu formiranja otvora u nasutoj brani je pokazan na slici 7.



Slika 7.Napredovanje erozivnih procesa u otvoru nasipa u funkciji vremena izmjeren na modelu (Zhu, 2006)

U novije vrijeme razvijeni modeli razlikuju pet faza razvoja otvora kako u nekoherentnim (Visser,1998) tako i u koherentnim materijalima (Zhu,2006). Prilikom modeliranja formiranja otvora u nasipu, najveći problem je određivanje intenziteta erozije uzrokovane tokom vode. Intenzitet erozije je definiran koeficijentom erodibilnosti M_e čija vrijednost se određuje eksperimentima ili na osnovu ekspertnih ocjena (Zhu, 2006).

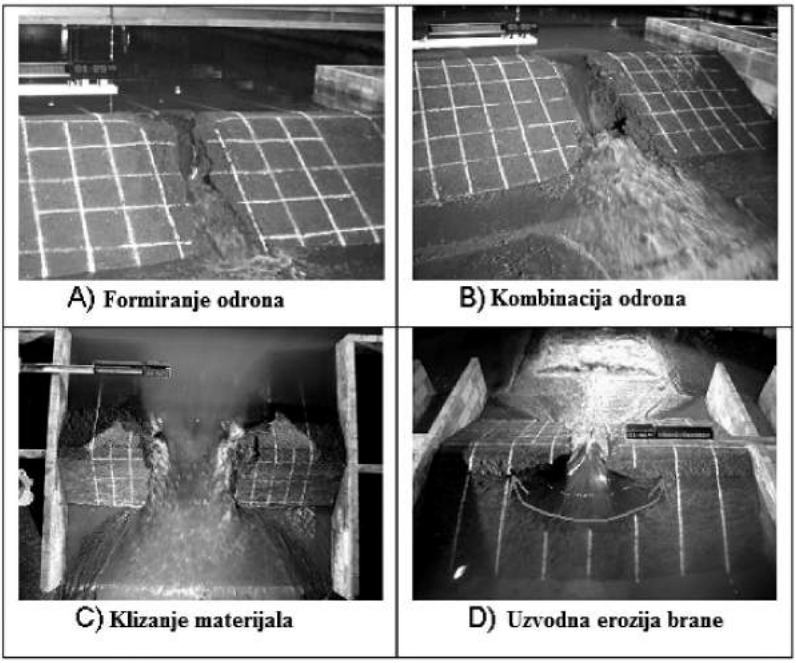
2.2 Laboratorijski modeli formiranja otvora u tijelu nasipa

U okviru istraživačkog programa pod nazivom *IMPACT* je izrađen niz laboratorijskih eksperimenata formiranja otvora u tijelu nasipa visine 0,5 – 0,6m (modeli u mjerilu 1:10). Ispitivani su nasipi od koherentnih i nekoherentnih materijala (Slika 9).

Prilikom izrade modela korišteni su materijali različitih granulometrija, mijenjan je oblik poprečnog presjeka te stupanj vlažnosti i zbijenosti tla. Promjenom vlažnosti ugrađenog materijala sa optimalne vrijednosti od 24% na 30% pri istoj je zbijenosti tla značajno povećana erodibilnost nasipa. Nasip čiji je materijal pri ugradnji imao optimalnu vlažnost znatno se bolje odupirao formiranju otvora. Krutost, čvrstoća i vododrživost, rastu s porastom zbijenosti tla.

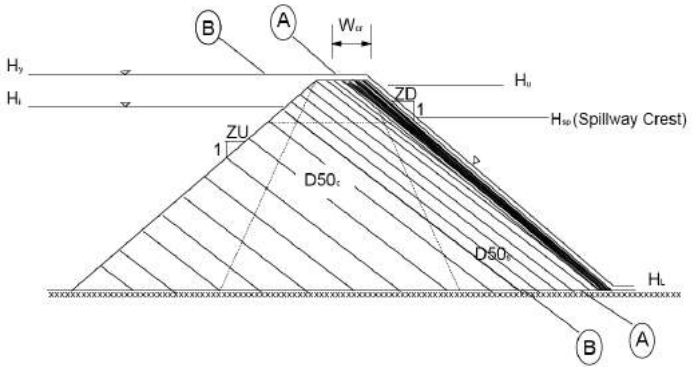
2.3 Numerički modeli

Danas postoji niz dostupnih programa za analizu formiranja otvora u nasipima i određivanje rezultirajućeg hidrograma. Jedan od najčešće korištenih modela je i BREACH (Fread, 1988) koji se zasniva na hidrauličkom pristupu, jednadžbama pronosa nanosa i principima geomehanike. Za računanje protoka kroz otvor se koriste jednadžbe preljeva i istjecanja kroz otvor koji se postepeno povećava uslijed erozije. Erodiranje nasipa a time i povećanje otvora se računa na osnovu modificirane Meyer-Peter i Mullerove jednadžbe za strme kanale.



Slika 8. Procesi formiranja otvora u modelu nasipa izgrađenog od koherentnog materijala

U primjerima u kojima se modelira rušenje uslijed prelijevanja, da bi započelo formiranje otvora razina vode mora biti viša od najniže kote krune nasipa. Erozija započinje na nizvodnoj strani nasipa što je na slici 9 prikazano linijom A-A. Prelijevanje uzrokuje formiranje kanala na nizvodnom pokosu. Protok kroz ovako formirani otvor se računa kao prelijevanje preko preljeva. Kada dno erozionog kanala dosegne profil B-B (slika 9) počinje erozija i uzvodnog pokosa. Dno erozionog kanala se tada spušta dok ne dosegne nožicu uzvodnog pokosa.



Slika 9. Poprečni presjek nasute brane sa parametrima za modeliranje rušenje uslijed prelijevanja (prema Fread,1998)

U okviru IMPACT projekta su rezultati mjerenja širenja otvora na pilot i fizikalnim modelima uspoređeni sa rezultatima modeliranja na matematičkim modelima. Modeli su ocjenjivani prema točnosti predviđanja vršnog protoka, razine vode u trenutku vršnog protoka, trenutka pojavljivanja vršnog protoka i krajnje širine otvora nasipa (širine nakon rušenja). Sudeći prema sveukupnim rezultatima došlo se do zaključka da su najpouzdaniji modeli zasnovani na programima BREACH i DEICH.

ZAKLJUČAK

U uvjetima prolaska vodnih valova u otvorenim koritima se ponekad na obrambenim nasipima uslijed prelijevanja ili procjeđivanja vode formiraju otvori koji uzrokuju istjecanja vode iz korita i plavljenje štićenih područja. Zbog velikih šteta koje poplave mogu uzrokovat u posljednje vrijeme je provedeno niz istraživanja sa ciljem sagledavanja mehanizama formiranja otvora i mogućnosti povećanja sigurnosti hidrotehničkih nasipa.

Istraživanjima na modelima je ustanovljeno da u uvjetima prelijevanja vode preko krune nasipa prvo dolazi do erozije nizvodnog pokosa. Kod homogenih nasipa, zbog veće erozije kod nožice nego pri kruni, nagib nizvodnog pokosa u otvoru postaje sve strmiji i strmiji. U ovoj fazi formiranja otvora nema značajnijeg povećanja protjecajnog profila niti protoka. U trenutku kada uslijed hidrauličke erozije novonastali otvor dosegne rub uzvodnog pokosa, širenje otvora u tijelu nasipa postaje znatno brže te se odgovarajuće povećavaju i protoci.

Kod projektiranja novih i sanacije postojećih nasipa treba posvetiti odgovarajuću pažnju erodibilnosti nizvodnog pokosa, kako bi se u početnim fazama usporio ili prekinuo proces formiranja otvora i time omogućilo smanjivanje ili izbjegavanje šteta. Potrebno je uspostaviti sustav mjerenja koeficijenta erodobilnosti nasipa.

Hidrauličkim analizama je dosad definirana potrebna visina nasipa kao i vodopropusnost. Prilikom projektiranja hidrotehničkih nasipa bi trebalo izraditi analizu mogućnosti rušenja nasipa u uvjetima prolaska vodnog vala. Analiza otpornosti nasipa na rušenja treba sadržavati odgovarajuće modele rušenja uslijed procjeđivanja kao i analizu otpornosti na rušenje uslijed prelijevanja preko krune što će povećati sigurnost hidrotehničkih nasipa u uvjetima prolaska vodnog vala.

LITERATURA

[1] Fread D.L (1988): BREACH – An Erosion Model for Earthen Dam Failures, Model Descrtiption,

[2] Höeg, K., Lřvoll, A. And Vaskinn, K.A (2004):Stability and breaching of embankment dams: field tests on 6 meter high dams. The International Journal of Hydropower and Dams, Issue 5

[3] Morris M.W, Hassan M.A.A.M.,Vaskin K.A.,(2007): Breach formation: Field test and laboratory experiments, Journal of Hydraulic Research, Vol. 45 Extra Issue, pp. 9–17

[4] RESCDAM (2000): Final report of Helsinki University of Technology, The use of Physical Models in Dam-break Flood Analysis,

[5] RESCDAM (2002): Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis, Final report: contribution of Enel.Hydro – Polo Idraulico e Strutturale

[6] Visser P.J (1998):Breach Growth in Sand-Dikes,Technische Universiteit Delft, Thesis,

[7] Zhu Y.(2006): Breach Growth in Clay-Dikes,Technische Universiteit Delft, Thesis,

AUTOR

prof. dr. Goran Gjetvaj

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, goran@grad.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.08.

PROMJENE KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA I REGULACIJA BUJIČNIH VODOTOKA: UTJECAJ NA ŽALA LIBURNIJE I OTOKA CRESA

Igor Ružić , Čedomir Benac , Suzana Ilić , Ivana Sušanj, Kristijan Ljutić

SAŽETAK: U ovom radu analiziran je utjecaj promjene vodnog režima bujičnih vodotoka i promjena korištenja zemljišta na morfološke promjene tijela minijaturnih šljunkovito-pjeskoviti žala, koji tvore mali dio ukupne duljine obale u području Kvarnera (kanalski dio sjevernog Jadrana). Većina njih nastala je erozijskim radom bujičnih vodotoka ili uzajamnim djelovanjem tih vodotoka i erozijskog djelovanja mora. Uspoređene su morfodinamičke značajke žala kod naselja Mošćenička Draga i Medveja na istočnoj, Liburnijskoj obali Riječkog zaljeva gdje su bujični vodotoci pod velikim antropogenim utjecajem sa žalima na sjeveroistočnom dijelu otoka Cresa, na kojima je taj utjecaj zanemariv.

Zbog djelovanja valova i morskih struja gubici sedimenata u tijelima žala su permanentna pojava. Intenzitet gubitaka sedimenta ovisi o morfološkim karakteristikama žala i hidrodinamičkim uvjetima na žalu. Donos sedimenata neophodan je za njihovo prihranjivanje i održanje ravnoteže žala. Produkcija nanosa, a posljedično i njihov pronos općenito su smanjeni u slivovima bujičnih vodotoka u području Kvarnera zbog vidljivog trenda povećanja gustoće vegetacije, što je posljedica smanjenja korištenja zemljišta u poljoprivredne svrhe. Zbog nepažljivo izvršene regulacije vodotoka značajno je smanjeno prirodno prihranjivanje na žalima u području Mošćeničke Drage, pa se mora permanentno donositi šljunak s drugih lokacija. Nasuprot tomu, u Medveji je bujični vodotok pravilno reguliran pa nije zaustavljena prirodna prihrana žala.

Budući da se očekuje ubrzani rast razine Mediterana, praćeno češćim pojavama ekstremno visokih razina mora, takovi događaji mogu znatno ubrzati morfodinamičke procese na obalama, a posebice na žalima.

KLJUČNE RIJEČI: obala, žal, morska razina, bujica, Jadransko more

THE IMPACT OF LAND USE CHANGES AND TORRENTIAL STREAMS FLOOD CONTROL ON THE LIBURNIAN AND CRES ISLAND BEACHES

SUMMARY: In this paper, we present analysis of torrential stream water regimes and land-use changes and their influence on the morphological characteristics of the pocket gravel beaches. Gravel beaches form a small part of the coastline in the Kvarner area. Most of pocket beaches are formed by the deposition of sediments from torrential flows. Here, analysis of beach characteristics and torrential basins in two investigated areas are presented. First area is located on the NE part of the island Cres, which is unmodified by human interventions and therefore provides opportunity to study natural systems. The second investigation area includes torrential streams Mošćenička Draga and Medveja where there are significant man made changes.

Due to coastal processes, sediment losses are permanent from gravel beaches. Sediment accumulation is necessary for the maintenance of their equilibrium.

The sediment supply from torrential flows is dependent on catchment characteristics such as: size of catchment, hypsometry, geology, soil and soil cover, land use, upland erosion and climate and channel networks. Torrential basin sediment production and discharges are generally reduced in the Kvarner region because of land-use changes. Flood defence works in torrential flow Mošćenička Draga have stopped sediment supply to the beach downstream; all sediment has been accumulated behind the dam. Medveja flood defence works have been done without a construction of check dam and sediment propagation had not been significantly changed. Beside this, the Mediterranean Sea level rise and more frequent and larger magnitude storms in the future are expected to cause frequent occurrence of extremely high sea levels which will result in additional beach erosion.

KEY WORDS: coast, beach, sea level, torrent, Adriatic Sea

1. UVOD

U razvijenim obalnim državama, gdje je naglašena litoralizacija, danas se posebna pažnja posvećuje upravljanju obalnim prostorom. Temeljna pretpostavka za to je prikupljanje i sistematizacija podataka o obalnom pojasu . Na tim temeljima mogu se predlagati i izvoditi tehnički zahvati te vršiti upravljanje (Cicin-Sain i Belfiore, 2005).

Morska razina je globalna granica iznad koje prevladavaju procesi trošenja stijena i odnošenja materijala, a ispod nje procesi akumulacije materijala (Cowell i Thom, 1997). Ti geomorfološki procesi posebice su izraženi na žalima. Njihove morfološke značajke ovise o donosu i načinu pronosa sedimenata s kopna, te o mehanizmima marinske erozije na obali i u plićem podmorju (Storlazzi i drugi, 2000).

Zbog djelovanja valova i morskih struja gubici sedimenata u tijelima žala su permanentna pojava (Bird, 2008). Intenzitet gubitaka sedimenta ovisi o morfološkim karakteristikama žala i hidrodinamičkim uvjetima na žalu. Donos sedimenata neophodan je za njihovo prihranjivanje i održanje ravnoteže žala, što zavisi od vodnih režima vodotoka koji se ulijevaju u more. Istraživanjem je ustanovljeno da bi izgradnja akumulacija na grčkim otocima mogla smanjiti donos nanosa na žala za čak 50% (Velegrakis i drugi, 2008). Prema istraživanjima u Kaliforniji, izgradnjom akumulacija i retencija smanjen je donos

nanosa za čak 75%. To mjestimice znatno utječe na povećanje erozije obale, pa se veliki novčani iznosi troše za umjetnu dohranu žala (Willis i Griggs, 2003).

U obalnom pojasu područja Kvarnera karbonatne stijene prevladavaju, dok su siliciklastične stijene manje zastupljene. Kvartarni sedimenti djelomično pokrivaju osnovne stijene. Sadašnji oblik stjenovitih karbonatnih obala prvenstveno je posljedica potopljenog krškog reljefa zbog rasta morske razine (Benac i Juračić, 1998).

U području Kvarnera prevladavaju slabi i umjereni vjetrovi s čestim razdobljima tišine, dok su olujni vjetrovi brzine veće od 30 m/s rijetki i kratkotrajni. U relativno zatvorenim akvatorijima Kvarnera, privjetrišta su kraća u odnosu na otvoreni dio Jadranskog mora i stoga valovi imaju manje visine pri istoj brzini vjetra. Iako sjeveroistočni vjetar bura ima najveću učestalost i dosiže najveću brzinu, vjetrovi koji pušu iz južnog kvadranta, poglavito jugo, generiraju naviše valove (Tabain, 1997).

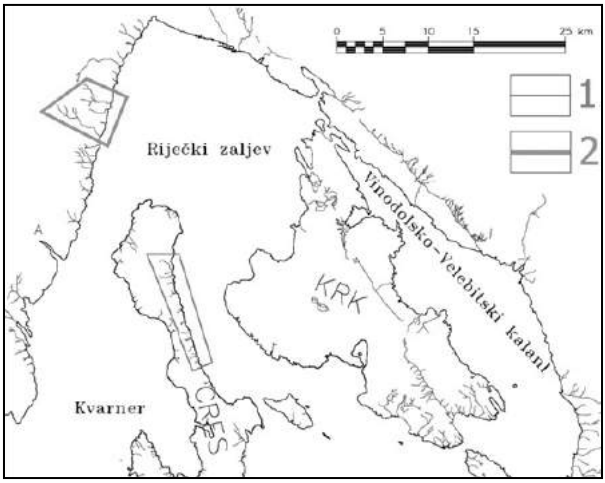
Valovima uzrokovana marinska erozija u području Kvarnera nije izražena zbog relativno zaštićenih akvatorija te vjetrova promjenljivih smjerova. Zbog toga prirodni šljunkovito-pjeskoviti žali tvore mali dio ukupne duljine obale. Različitog su oblika i veličine, i najčešće duljine manje od 50 m. Nastali su na dva različita načina: razaranjem obale tijekom procesa marinske erozije i akumuliranjem bujičnih sedimenata, kao i kombinaciju tih dvaju procesa (Juračić i drugi, 2009, Benac i drugi, 2010).

Nekontrolirana izgradnja obalnih građevina i kupališnih površina na obalama Kvarnera najčešće se obavljala vrlo nestručno, uz primjetno nagrđivanje obale. Prirodni žali pokrivaju mali dio obale i visokog su stupnja ranjivosti. S druge strane, često su okosnica turističke ponude obalnih naselja kao najprivlačnije lokacije za kupanje. Zbog nedostatka kupališta, posljednjih godina primjetan je trend nasipavanja mora radi izgradnje novih ili proširenja postojećih žala. Rezultat je ponekad suprotan: zbiva se erodiranje prirodnih pjeskovitih ili šljunkovitih žala pa su neki od njih potpuno razoreni, a drugi se primjetno smanjuju (Benac i drugi, 2007). Ti nepovoljni učinci mogu se spriječiti pažljivim planiranjem i odgovarajućom zaštitom. Isto tako, može se povećati površina prirodnih žala odgovarajućim građevinskim zahvatima.

U ovom radu obrađen je utjecaj promjene vodnog režima bujičnih vodotoka i promjena korištenja zemljišta na morfološke promjene tijela šljunkovitih žala. Uspoređene su morfodinamičke značajke žala kod naselja Mošćenička Draga i Medveja na istočnoj, Liburnijskoj obali Riječkog zaljeva gdje su bujični vodotoci pod velikim antropogenim utjecajem, sa žalima na sjeveroistočnom dijelu otoka Cresa, na kojima je taj utjecaj zanemariv.

2. ISTRAŽIVANA PODRUČJA I METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno na području sjeveroistočne obala otoka Cresa te na području Medveje i Mošćeničke Drage na Liburnijskoj obali (slika 1).



Slika 1. Područje istraživanja: 1- sjeveroistočna obala Cresa, 2-Liburnijska obala

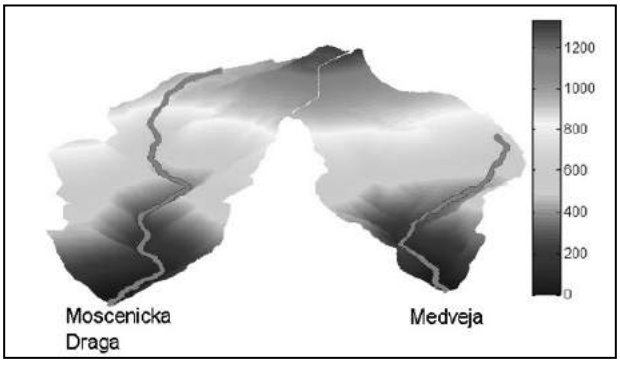
Na istraženom području otoka Cresa, poznatom i pod nazivom Tramuntana (slika 1), danas je zanemariv antropogeni utjecaj. Naime, osim naselja Beli, to je danas prostor bez stalnih stanovnika. U drugoj polovici 20. stoljeća primjetan je trend prirodnog pošumljavanja obradivih površina i pašnjaka. Posljednjih deset godina mjestimično se obnavljaju maslenici ili se sade novi. Na tom području istraženi su slivovi 15 bujičnih vodotoka i žala na njihovim krajevima. Površine slivova su različite: od 0,25 do 1,6 km^2, a površine žala od 250 do 2000 m^2.

Područje Liburnije je znatno gušće naseljeno. Međutim, u drugoj polovici 20. stoljeća primjetan je trend napuštanja naselja na većoj nadmorskoj visini, kao i istovremeno intenzivna izgradnja uz obalu. U skladu s tim vidljiv je trend prirodnog pošumljavanja nekadašnjih obradivih površina u uzvodnim dijelovima bujičnih vodotoka. Površina sliva bujice Mošćenička Draga je 10,5 km^2, a površina žala oko 6000 m^2 . Površina sliva bujice Medeja je 7,5 km^2, a površina žala oko 8000 m^2. Korita bujica uređena su samo u vodotoka. Njihov uzvodni dio je unutar teritorija parka prirode Učka, zbog čega nisu izvršeni značajniji građevinski zahvati u svrhu regulacija vodotoka. U nizvodnom dijelu bujičnog vodotoka Mošćenička Draga sagrađene su dvije pregrade za akumulaciju bujičnog nanosa. Prva pregrada izgrađena je 1993. godine, a projektirani kapacitet zadržavanja nanosa pregrade bio je 1300 m^3. Prilikom izgradnje nije se uvažilo projektno rješenje koje je zahtijevalo redovno čišćenje pregrade, koje je trebalo biti omogućeno izgradnjom adekvatnog prilaza. Akumuliranim nanosom iz pregrade trebalo je dohranjivati žalo (JVP Hrvatska vodoprivreda, 1992). Predviđeni prilaz do pregrade nije omogućen, pa se akumulacija iza pregrade nije čistila, te ubrzo nakon izgradnje retencija biva ispunjena vučenim bujičnim nanosom. Zbog toga je projektirana i 2002. godine izgrađena nova pregrada. Ona se nalazi oko 200 m uzvodno od prve, a zapremine je 735 m^3(Hrvatske Vode – VGO Rijeka, 2002). Pristup za čišćenje akumulacionog prostora nove pregrade nije napravljen. Na slikama 2 i 3 vidi se razlika u količini sedimenata 2004. i 2011. godine.

Slika 2. Pregrada za zadržavanje nanosa, bujica Mošćenička Draga, stanje- 2004. godina

Slika 3 Pregrada za zadržavanje nanosa, bujica Mošćenička Draga, stanje - 2011. godina

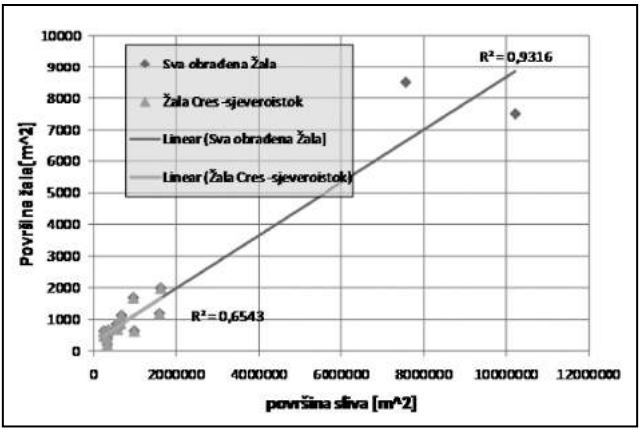
Površine žala određene su na osnovi obilaska terena, fotografija dobivenih preletom istraživanog područja i geokodiranih ortofoto snimaka u mjerilu 1:5000. Površine i karakteristike slivova i bujičnih vodotoka određeni su na osnovi digitalnog modela elevacije terena Primorsko-goranske županije (DETM), kao i topografskih karata mjerila 1:25000 i 1:5000. Na slici 4 prikazan je digitalni model terena slivova bujica Mošćenička Draga i Medveja s glavnim bujičnim vodotocima.



Slika 4. Digitalni model terena slivova bujica Mošćenička Draga i Medveja

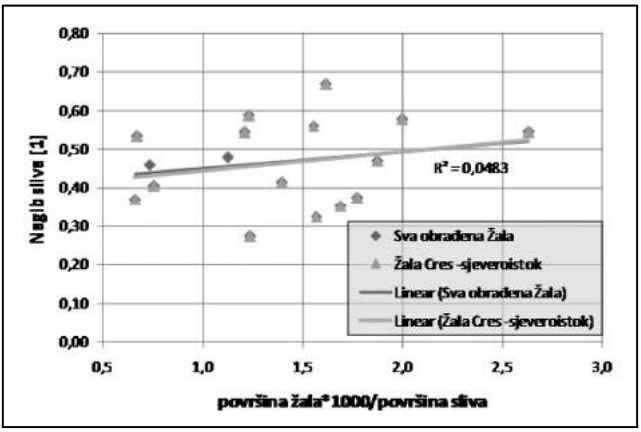
3. REZULTATI

Uspostavljen je model linearne regresije između površine žala i površine pripadajućeg sliva bujičnog vodotoka. Koeficijent regresije za istražene parove površina žala i slivova na otoku Cresu pokazuje čvrste korelacijske veze (r=0,81; R^2=0,65). Korelirani parovi i model linearne regresije prikazani su na slici 5.



Slika 5. Model linearne regresije površine sliva i žala istraživanog područja

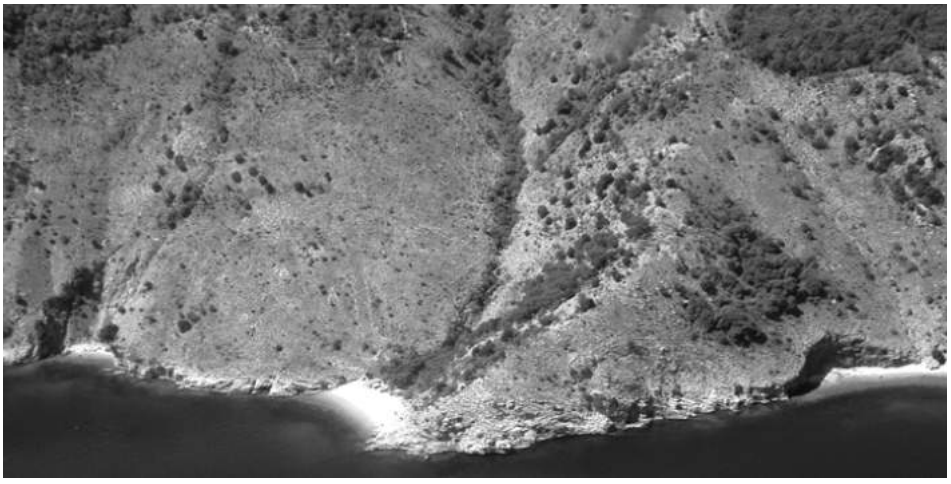
Ako se istraženim parovima površina žala i slivova otoka Cresa dodaju podaci za područja Mošćeničke Drage i Medveje linearna korelacija ima još bolje korelacijske veze (r = 0,93; R^2 = 0,86) (slika 5). Čvrste korelacijske veze između površine sliva i žala nastalih akumulacijom nanosa na njihovom ušću, dokazuju povezanost površine sliva i površine žala. To nije ovisno o drugim čimbenicima kao što su: intenzitet oborina, reljef sliva, litološki sastav i erodibilnost naslaga, način i promjene u korištenju zemljišta, vrsta i gustoća vegetacijskog pokrova te način akumuliranja i erozije sedimenta iz tijela žala.



Slika 6. Linearni model korelacije srednjeg nagiba sliva
i bezdimenzionalnog koeficijenta (površina žala/površina sliva)

Nagib terena jedan je od značajnijih parametara koji bitno utječe na produkciju i pronos bujičnog nanosa. Analizirana je pretpostavka da veći nagibi terena u slivu bujičnog vodotoka stvaraju veću produkciju i pronos nanosa, zbog čega bi žala nastala na ušćima takovih slivova trebala biti relativno veća. Da bi se potvrdila navedena pretpostavka uspostavljen je model linearne regresije srednjeg nagiba sliva i bezdimenzionalnog koeficijenta koji je kvocijent površine sliva i žala nastalog na ušću bujičnog vodotoka. Na slici 6 prikazani su rezultati modela linearne regresije.

Rezultati linearne regresije prikazuju slabu korelacijsku vezu srednjeg nagiba sliva i kvocijenta površina žala i sliva na području otoka Cresa. To upućuje na zaključak da nagibi unutar sliva, a time i količina nanosa nisu ključan čimbenik koji određuje površinu žala. Potrebno je razmotriti i druge čimbenike kao što su uvjeti pronosa i akumulacije nanosa, te gubici sedimenata sa žala koji su određeni obalnim procesima. Primjer tome je žalo kod rta Dražinj (slika 7), gdje sam rt štiti žalo od marinske erozije, odnosno gubitaka sedimenata. Zbog toga žalo ima jako velik bezdimenzionalni koeficijent odnosa površine žala i sliva 2,5, a prosječna vrijednost je 1,4. Slabu korelaciju mogu uzrokovati i lokalni geološki čimbenici unutar nekog sliva, kao što su aktivni sipari i intenzivna erozija klifova.



Slika 7. Žalo kod rta Dražinj na otoku Cresu

Veza nagiba sliva i relativne površine žala na manjim slivovima na priobalnim padinama sjeveroistočne obale otoka Cresa nije dokazana. Zbog toga će biti potrebno analizirati i ostale čimbenike koji mogu utjecati na oblik i volumen tijela žala kao što su erodibilnosti naslaga u slivu, utjecaj marinske erozije i akumulaciji na obali i sl. Nasuprot tomu, veza nagiba sliva i veličine žala dobra je na istraženim žalima na Liburnijskoj obali. Razlog je najvjerojatnije njihova veličina, koja umanjuje utjecaj sekundarnih čimbenika, što bi trebalo provjeriti analiziranjem ostalih lokacija na tom dijelu obale.

Produkcija i pronos nanosa u slivovima istraženih bujica i dalje je vrlo velika unatoč znatnim pošumljavanjem zemljišta. O tome nam svjedoči primjer područja Mošćeničke Drage, gdje su se u periodu od 17 godina sedimentima potpuno ispunile dvije pregrade ukupnog volumena oko 2000 m^3, (slika 2 i 3). Sudeći po nakupinama šljunka i valutica u koritu bujice uzvodno i nizvodno od tih pregrada, volumen zadržanog nanosa je

znatno veći, procijenjeno oko 500 m^3. To daje godišnju produkciju vučenog nanosa od oko 150m^3 godišnje.

ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je veza između površina sliva bujica i površina žala koja su nastala akumulacijom vučenog bujičnog nanosa. Koeficijent korelacije linearnog trenda ta dva parametra je vrlo velik (r = 0,93), neovisno o veličini sliva, uvjetima nastanka, pronosa i akumulacije sedimenata. S druge strane, ta čvrsta veza pokazuje da se promjenama u slivu i koritu bujičnog vodotoka može značajno utjecati na veličinu tijela žala. Te promjene mogu biti izražene zbog urbanizacije praćene izgradnjom infrastrukturnih građevina, regulacije vodotoka, promjena u korištenju zemljišta i sl.

Područje Mošćeničke Drage jasan je primjer posljedica poremećaja u prirodnom sustavu dohrane žala izgradnjom brane za akumulaciju vučenog nanosa. Zbog znatno slabije akumulacije sedimenata žalo je potrebno umjetno dohranjivati što iziskuje znatna materijalna sredstva. To može biti i problem zaštite okoliša, budući da umjetno nasuti materijal sadržava značajan udjel prašinasto-glinovitih čestica koje se talože na širem području nepovoljno djelujući na zajednice biocenoze morskog dna. Nepovoljna okolnost je i suviše izražena uglatost nasutog materijala na kupališnom prostoru, što nije prikladno za takove namjene.

Unatoč vidljivom trendu povećanja gustoće vegetacije, što je posljedica smanjenja obrade zemljišta, procesi produkcije i pronosa nanosa na slivovima liburnijskih bujica su i dalje izraženi. Zbog toga je kod planiranja regulacije bujičnih vodotoka na čijim se krajevima nalaze žala, prvo neophodno procijeniti potrebu obrane od poplave. U slučaju da je regulacija vodotoka neophodna, tehničkim rješenjima treba omogućiti pronos sedimenata radi prirodne prihrane žala. Taj učinak se može postići izvođenjem regulacije bujice bez poremećaja pronosa nanosa ili pak dohranjivanjem žala iskopom sedimenata akumuliranih iza pregrada.

Pozitivan je primjer prihrane žala u području Medveje. Tu je regulacija bujičnog vodotoka izvršena na pravilan način. Stoga nije zaustavljen pronos nanosa pa se prirodna prihrana žala odvija na zadovoljavajući način.

Stabilnost istraženih žala, odnosno ujednačenost odnosa površine žala i sliva, vidljiva po jakoj regresijskoj vezi, dokazuje stabilnost tih žala. Autori, ovog rada nisu na području Kvarnera vidjeli potpunu eroziju nekog žala, osim u slučaju grubog antropogenog utjecaja. Čak i u slučaju, privremenog erodiranja tijela žala zbog velikih dotoka, nakon nekoliko godina, žalo je poprimilo prvotni oblik.

Učinci klimatskih promjena već su danas vidljivi u području Kvarnera po pojavama sve učestalijih ekstremnih dnevnih oborina, kao i pojavama ekstremno visokih razina mora. Biti će neophodno analizirati njihov utjecaj na produkciju, pronos nanosa u slivovima bujica, njihovu akumulaciju na obalama, te promjene veličine i oblika žala. Čini se da će se žala u prirodnom okruženju lakše prilagoditi nešto izmijenjenim utjecajima. Nasuprot tomu, mogu se očekivati znatno veći problemi na umjetno oblikovanim žalima. Ti negativni učinci morat će se riješiti na tehnički i ekološki prihvatljiv način.

LITERATURA

[1] ANTONIOLI, F. i SILENZI, S. (2007): *Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilitŕ delle pianure costiere italiane*. Quaderni Soc. geol Ital., 2, 1-29.

[2] BENAC, Č,; RUŽIĆ, I, ŽIC, E (2007): *Ranjivost obala u području Kvarnera*. Pomorski zbornik, 44, 201-214.

[3] BENAC, Č. i JURAČIĆ, M, (1998): *Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wuerm) and Holocene in the Kvarner region*. Acta Geographica Croatica 33, 27-45. (34)

[4] BIRD, E, (2008): Coastal Geomorphology, 2.ed.John Wiley & Sons, Chichester, p.p.West Sussex, England, 297.

[5] CICIN-SAIN B, i BELFIORE, S,: *Linking marine protected area to integrated coastal and ocean management: A review of theory and practice*, Ocean and Coastal Management, 48, str. 847-868, 2005

[6] COWELL, P.J, i THOM, B.G, (1997): *Morphodynamics of coastal evolution. In: Coastal evolution*, Carter, R.W.G. & Woodroofe, C.D., ed., 33-86, Cambridge University Press, Cambridge.

[7] HARDING,A.E., PALUTIKOF,J, i HOLT,T, (2009): The climate system, *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford Univ. Press, 69–88, Oxford.

[8] Hrvatske Vode – VGO Rijeka (2001): REGULACIJA BUJICE MOŠĆENIČKA DRAGA UZVODNO OD KM 0+736,71, neobjavljeno.

[9] JURAČIĆ, M., BENAC, Č., PIKELJ, K. & ILIĆ, S. (2009): *Comparison of the vulnerability of limestone (karst) and siliciclastic coasts (example from the Kvarner area, NE Adriatic, Croatia)*. Geomorphology, 107 (1-2), 90-99.

[10] JVP Hrvatska Vodoprivreda (1993): BUJICA MOŠĆENIČKA DRAGA – PREGRADA ZA NANOS, B – 217, neobjavljeno.

[11] STORLAZZI, C.D, i FIELD, M.E, (2000): Sediment distribution and transport along a rocky, embayed coast: Monterey Peninsula and Carmel Bay, California. Marine Geology, 170 (3-4), 289-316.

[12] VELEGRAKIS, A.F, VOUSDOUKAS,M.I, ANDREADIS,O, G.ADAMAKIS; PASAKALIDOU E.; MELIGONITIS R; KOKOLATOS,G, (2008): Influence of Dams on Downstream Beaches: Eressos, Lesbos, Eastern Mediterranean; Marine Georesources & Geotechnology, 26 (4), 350 - 371

[13] WILLIS, C.M, i GRIGGS, G.B, (2003): *Reductions in fluvial sediment discharge by coastal dams in California and implications for beach sustainability*. Journal of Geology. 111(2):167-182.

[14] TABAIN, T, (1997): *Standard wind wave spectrum for the Adriatic Sea revised* (1977-1997)", Brodogradnja, 45, str. 303-313.

AUTORI

Igor Ružić [a]
Čedomir Benac [a]
Suzana Ilić [b]
Ivana Sušanj [a]
Kristijan Ljutić [a]

[a] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; Viktora Cara Emina 5; 51000 Rijeka, igor.ruzic@gradri.hr

[b] Lancaster Environment Centre & Geography Department, University of Lancaster, Lancaster LA1 4YQ, UK, s.ilic@lancaster.ac.uk

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.09.

HYDRAULIC ANALYSIS OF TRANSBOUNDARY RIVERS – Dra–Mur–CI PROJECT

Gorazd Novak, Matej Müller, Franci Steinman, Daniel Kozelj

SUMMARY: "Drava and Mura Crossborder Water Management Initiative" Project (abrev. Dra–Mur–CI) is an EU project, supporting Slovenia and Austria transboundary co–operation. Among other tasks, also the Mura river reach along the state border will be examined with regard to the project's two essential tasks: 1) In–depth research and implementation of Flood Directive on the flood prone areas in neighboring countries, demanding cross–border cooperation, considering the occurrence of flooding, flood hazard and flood damage potential to reduce flood risk (in Gornja Radgona – Bad Radkersburg). Based on the analysis of LIDAR data and information platform of the floods, bilateral warning and action plans will be supported, allowing to improve the system of warning and informing citizens and civil protection relief; 2) Analysis of the vegetation occurrence in river corridors impact on conveyance, to show the consequences on flood prone areas extend and flood hazard classes.

The 2D mathematical hydraulic model is used to simulate various potential flooding scenarios, taking into account different legislation criterions in both countries for Flood hazard mapping as well. The same approach would be very useful for river's stretches of common interests – bordering Slovenia and Croatia, as well.

KEYWORDS: flood risk management, flood hazard, hydraulic model, Dra–Mur–CI

HIDRAULIČKA ANALAIZA PREKOGRANIČNIH RIJEKA– PROJEKT PREKOGRANIČNE VODNOGOSPOARSKE INICIJATIVE DRAVA I MURA (Dra–Mur–CI)

SAŽETAK: Projekt "Prekogranična vodnogospodarska inicijativa Drava i Mura" (skraćeno Dra–Mur–CI) je projekt Europske unije kojom se podržava prekogranična suradnja između Slovenije i Austrije. Među ostalim zadacima, rijeka Mura uz državnu granicu biti će istraživana u kontekstu dva osnovna zadatka projekta: 1) detaljno istraživanje provedbe Direktive o poplavama na područjima izloženim poplavama u ovim susjednim zemljama koje zahtijevaju prekograničnu suradnju s obzirom na pojavu poplava, poplavnih rizika i potencijalnih poplavnih šteta radi smanjenja poplavnih rizika (u Gornjoj Radgoni – Bad Radkersburgu). Na osnovi analize informacijske i podatkovne platforme LIDAR o poplavama i bilateralnom upozoravanju, biti će podržani akcijski planovi koji omogućuju

poboljšanje sustava upozoravanja i informiranja građana i civilnu zaštitu; 2) analiza pojave vegetacije u riječnim koridorima i njen utjecaj na prohodnost kako bi se prikazali opseg posljedica na područja izložena poplavama i kategorija opasnosti od poplava.
2D matematički hidraulički model korišten je za simulaciju različitih poplavnih scenarija, uzimajući u obzir razne zakonske kriterije pri izradi karata rizika od poplava u ove dvije zemlje. Ovaj pristup bio bi također veoma koristan za dijelove rijeka od zajedničkog interesa na granici Slovenije i Hrvatske.

KLJUČNE RIJEČI: upravljanje rizicima od poplava, poplavna opasnost, hidraulički model, projekt Dra–Mur–CI

1. INTRODUCTION: THE DRA–MUR–CI PROJECT

The Dra–Mur–CI project aims toward the integrated water management in the area of the largest rivers (Drava and Mura), that are shared by two EU states (Austria and Slovenia), according to two EU Directives: Water Framework Directive (WFD) and Flood Directive (FD). The first directive covers the planning and execution of programs, public participation and the maintenance of river basins, while the second directive deals with the problems of flooding, taking into account the objectives of management during flood, flood risk management plans and the establishment of flood plain areas. The project will establish common standards for the handling of floods and management of sediments that are currently not implemented. This will be achieved through intensive cross–border cooperation and exchange of experiences.

The Dra–Mur–CI project activities cover coherent cross–border development and support measures for the protection of humans and the environment against natural disasters and improving the living environment of people, flora and fauna. Six work–packages that cover the project content have the goal to create common standards and information–based technology for protection against flooding and the exchange of experience at the professional level and prove the concept in realized pilot projects.

The project has two essential tasks: (1) In–depth research and development on the field of water management and cross–border cooperation, including the understanding of the occurrence of flooding and flood risk and control of sediments. Based on the analysis of scientific data and information platform of the floods the system of warning and informing citizens, civil protection and upgrade bilateral warning and action plans could be improved later on. (2) River regulations and flood protection measures to re–evaluate the nature, the living environment of both rivers and integrated action in the form of pilot projects on the river Drava and Mura (Dra–Mur–CI, 2011).

To achieve some of the project's goals various numerical hydraulic models will be established at the University of Ljubljana, one deals with water node at Dravograd on Slovenian side of Drava river (Steinman et al., 2010) and three models cover the area around Mura river along the reach from Austria – Slovenia state border to water gauge station Petanjci, Slovenia. This paper focuses on those three models, the extents of which are shown on Figure 1.

2. HYDRAULIC MODEL GORNJA RADGONA – PETANJCI

The first model under consideration is the downstream reach from Gornja Radgona – Bad Radkersburg to Petanjci. This model is going to provide the following outputs: (1) flood

extent lines for characteristic discharges Q_{10}, Q_{30}, Q_{100}, Q_{300}, Q_{500} Q_{1000},..., (2) water surface levels for various projects, and (3) basis for flood hazard maps.

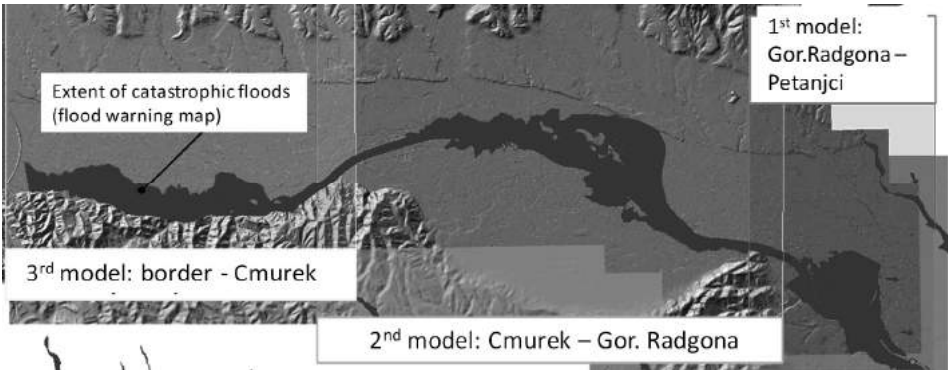


Figure 1. Three hydraulic models of Mura river along the state border

2.1. Software

To provide more reliable results two different commercial hydraulic softwares were employed: MIKE Flood and CCHE 2D. DHI's MIKE Flood combines one–dimensional and two–dimensional hydraulic model, making it a coupled 1D–2D model (Figure 2), while the CCHE 2D from National Center for Computational Hydroscience and Engineering at University of Mississippi is a fully two–dimensional flow with sediment transport module (NCCHE, 2011). At this stage no sediment transport was simulated.

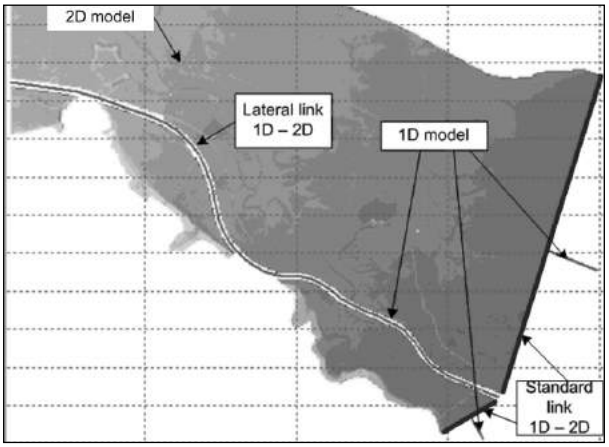


Figure 2. The principle of coupled 1D+2D MIKE Flood hydraulic model

2.2. Input data

Both hydraulic softwares were employed on identical sets of topographical and hydrological input data, overview of which is shown on Figure 3.

The geometry of the hydraulic model was given as an orthogonal numerical grid, generated upon digital elevation model (DEM), combined from various Austrian and Slovenian data:

- LIDAR (Light Detection And Ranging) measurements:1 x 1 m grid
- existing DEM: 12,5 x 12,5 m grid
- cross sections, measured in 1998

Hydrological input data consisted of discharge curves, measured water surface levels and values from field observations (traces of high water). Using these data we defined hydraulic boundary conditions of the model as:

- upstream: constant inflow (or incoming hydrograph in case of unsteady flow)
- downstream: rating curves for channel and for inundations respectively
- MIKE Flood: additional lateral link between main channel (1D) and inundation (2D)

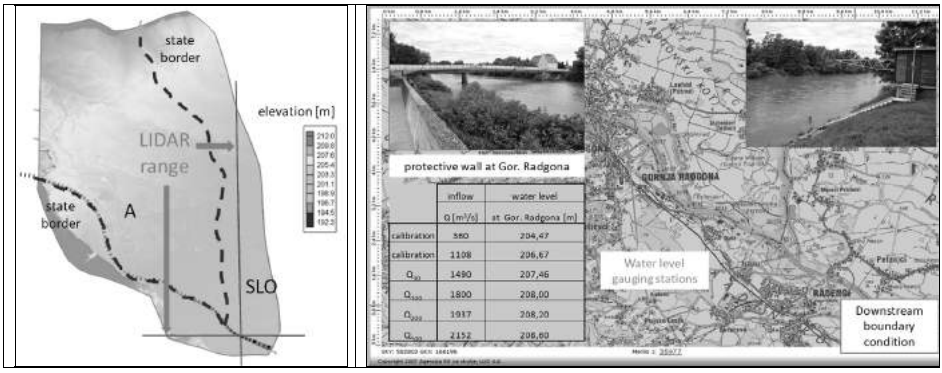


Figure 3. Overview of input data: Topographical (left) and hydrological (right)

2.3. Calibration

With the adjustment of Manning's bed roughness coefficient n_G both models were calibrated to suit measured data and (to some degree) results from an existing study (Četina et al., 2000), that had been made with 1D model HEC–RAS. We adopted values n_G for heavily vegetated inundations from the report mentioned. In accordance with that study we found out that n_G values slightly decreased with increasing inflow (Müller et al., 2009). Figure 4 shows good agreement between hydraulic models and available data for one of the cases used for calibration.

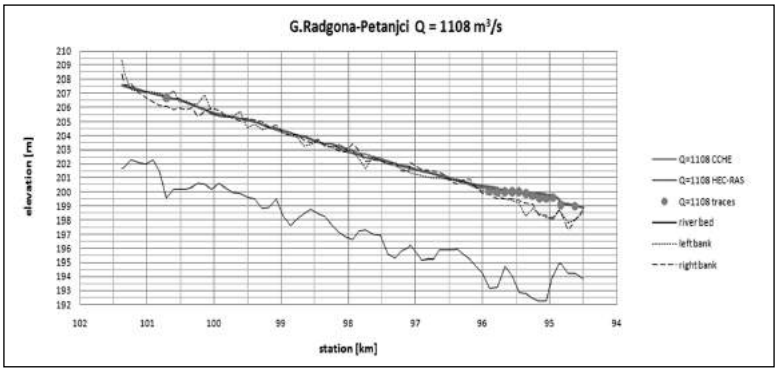


Figure 4. Calibration results for case Q = 1108 m^3/s

3. HYDRAULIC MODELING – INTERMEDIATE RESULTS

Results of hydraulic model simulation in general include: water surface elevations, water depths, flow velocities, specific discharges, shear stresses, eddy viscosities and Froude numbers. Those calculated values can be displayed for whole domain or along defined line, e.g. cross section or longitudinal section. We concentrated on flow depths and velocities, because these are required for determination of flood hazard maps. The presented results are for now intermediate or preliminary and are mainly used for comparison with existing 1D study and to point out topographical details and hydrological characteristics that will eventually have to be checked or updated with additional field measurements.

Figure 5 shows results of MIKE Flood calculation, namely Mura river depths and flow velocities for Q_{100} = 1800 m^3/s case. With the addition of Drauchenbach tributary discharge the flood extent increases significantly, as Figure 6 shows.

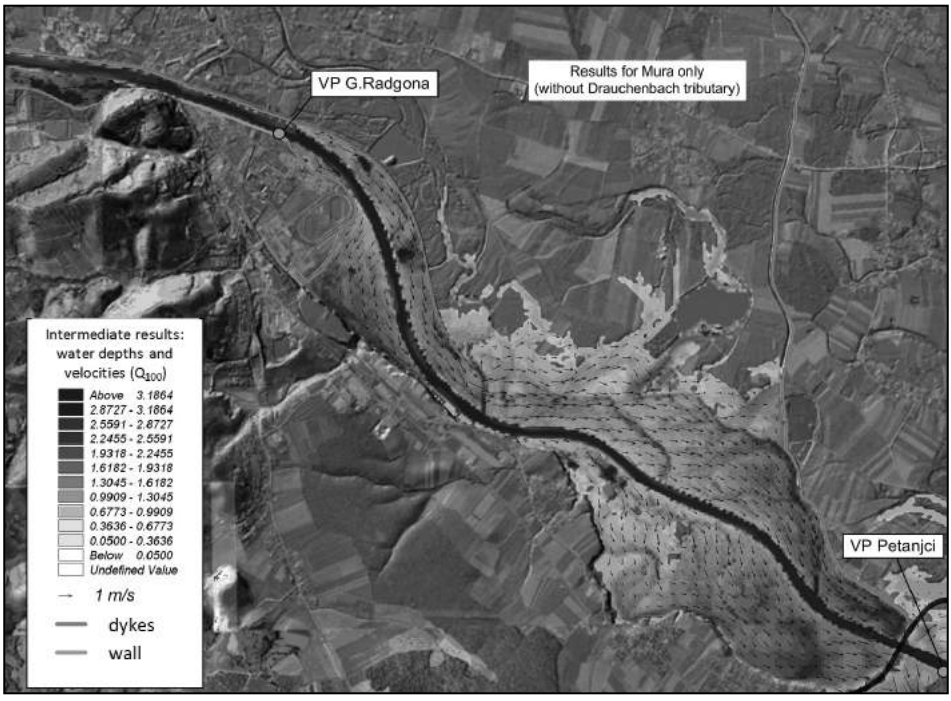


Figure 5. Intermediate results: water depths and velocities (case: Q100, Mura without tributary)

Such results will provide decision support for future flood protection measures. In Gornja Radgona, just upstream from water level gauging station (marked VP G. Radgona), a concrete wall is going to be reconstructed, while around village Sicheldorf a new dyke is planned. Due to interaction the planning in both cases has to be brought into line between both neighbouring states.

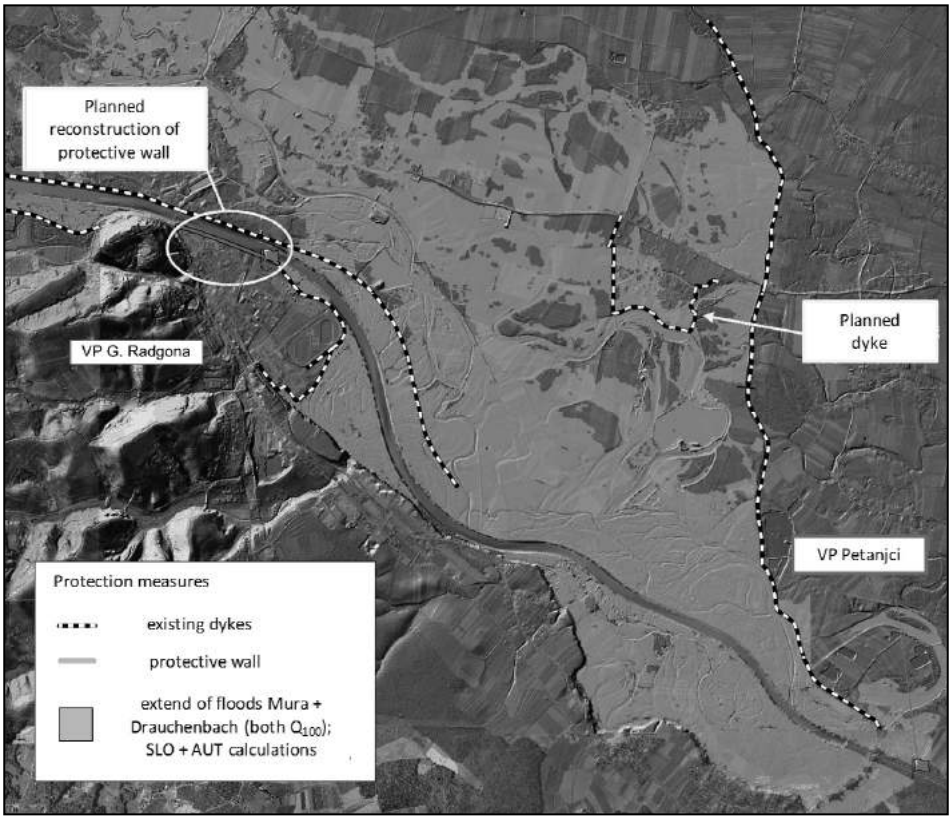


Figure 6. Present and future flood protection measures (Mura + Drauchenbach)

4. FURTHER WORK AND SUGGESTIONS

As mentioned before, our current research with hydraulic model Gor. Radgona – Petanjci is for now at intermediate stage. As work continues we are going to complete the following tasks:

- Improved calibration using updated input data (recent flood events, observed deepening of main channel bed)
- Additional simulations using upstream hydraulic boundary conditions of unsteady flow
- Determination of water surface profiles for flood cases, that will be used in projects of protective measures (protective wall/dyke)
- Preparation of basis for flood hazard maps, which should be prepared separatedly.

Regarding further work we suggest, that a research similar to the one presented in this paper, could be performed for the Sotla river as well, because it borders Slovenia and Croatia and is as such a region of common interests.

Furthermore we propose, that as an example of good practice which might be supported by Danube Commission, a project of four adjacent states – Slovenia, Austria, Croatia and Hungary – would be undertaken. Concentrating on regions of common interests (e.g. Figure 7) this project could include the same contents as Dra–Mur–CI:

- Project management
- Flood protection and reduction of risk
- Sediment transport
- Ecological status of waters and adjacent habitats
- Measures – pilot projects
- Participation of public, presentation of results

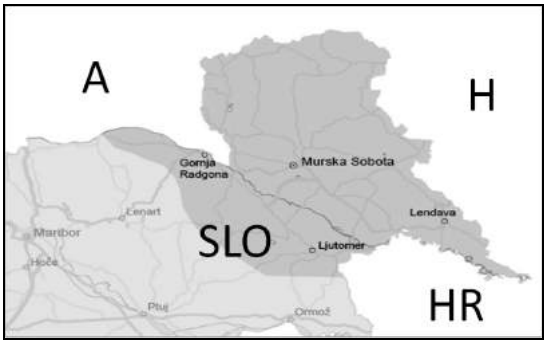


Figure 7. Suggestion: project of four states

Additional topics could be incorporated in the project proposal as well, depending on involved project partners and particular interest in four states.

CONCLUSION

Within the framework of Dra–Mur–CI project a hydraulic model of Mura river in the reach from Gornja Radgona – Bad Radkersburg to Petanjci was generated. Using two different software packages, MIKE Flood and CCHE 2D, various simulations of flood events have been performed so far, giving us a set of intermediate results. Additional calculations with updated input data will provide a valuable basis for flood hazard maps.

We suggest that a similar approach of cross–border cooperation would be adopted firstly between Slovenia and Croatia for the Sotla river, and secondly between Slovenia, Austria, Croatia and Hungary – joining four states in a project that could cover the same contents as Dra–Mur–CI.

REFERENCES

[1] CCHE2D webpage: http://www.ncche.olemiss.edu/software (21.2.2011)

[2] Četina, M., Fazarinc, R., Kratzer, K., Vidmar, A., Zakrajšek, M., Zrinski, M., Žagar, D., (2000): Načelna vodnogospodarska zasnova za mejno Muro I. faza, 1998–2000; Označitev pretoka do roba polne struge in območij 30–letne in 100–letne visoke vode. Končno poročilo, Stalna slovensko – avstrijska komisija za Muro, RS MOP, Ljubljana

[3] Dra–Mur–CI project webpage: http://www.dramurci.eu/page/page.asp?id_meta_type=1&id_language=3 (21.2.2011)

[4] Müller, M., Steinman, F., Rak, G., (2009): Vpliv redčenja zarasti na obseg poplavne nevarnosti, 20. Mišičev vodarski dan: Zbornik referatov, Vodnogospodarski biro Maribor, Maribor, 68–75

[5] Steinman, F., Novak, G., Müller, M., Kozelj, D., (2010): Poplavni scenarij za vodno vozlišče Dravograd – projekt DRA–MUR–CI, Mednarodna konferenca o Dravi, 30.9. – 1.10.2010 Življenje v porečju Drave : zbornik izvlečkov prispevkov (Zajc, P., Colnarič, N., Vreš, B.), Regionalna razvojna agencija za Koroško, Dravograd, 50–51

AUTORI

Gorazd Novak [a]

Matej Müller, assist. [b]

Franci Steinman, prof. dr. [c]

Daniel Kozelj, assist. [d]

[a] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Hajdrihova 28, Ljubljana, 1000, Slovenia, gorazd.novak@ fgg.uni-lj.si

[b] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Hajdrihova 28, Ljubljana, 1000, Slovenia, matej.mueller@fgg.uni-lj.si

[c] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Hajdrihova 28, Ljubljana, 1000, Slovenia, franci.steinman@fgg.uni-lj.si

[d] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Hajdrihova 28, Ljubljana, 1000, Slovenia, daniel.kozelj@fgg.uni-lj.si

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.10.

HYBRID HYDRAULIC MODELING OF HYDROPOWER PLANTS AT SAVA NEAR THE NATIONAL BORDER

Matej Mueller, Gašper Rak, F. Steinman, Gorazd Novak, Sašo Šantl

SUMMARY: A chain of hydropower plants on the lower part of river Sava would contain hydro systems of Vrhovo, Boštanj, Blanca, Krško, Brežice and Mokrice. The first three power plants are already built, the fourth is under construction while the fifth and sixth power plant Brežice and Mokrice, which are located near the Croatian state border, are in process of design and optimization with brief hydraulic analysis. The paper presents a hybrid (combination of physical and mathematical model) approach to the hydraulic modelling of the run-of-river hydropower plants on the lower Sava River in the Republic of Slovenia. The hybrid hydraulic model approach combines benefits from both hydraulic methods. A physical model can still more precisely assure data where the influence of turbulence and other 3D flow phenomena are significant. On the other side, a mathematical model upgrades the physical model in the phase where significant number of analysis, planning changes and data presentations for decision support is needed. The objectives of hydraulic modelling are, at first, to define the current retention capacity, run-off regime and flood hazard situation in the discussed area. In the second phase, the objectives are to optimally design the hydropower plant, including full analyzes of there located state infrastructure (highway, railway, etc). One of the main objectives in this phase is also to fulfil the strict state boundary conditions, originated from bi-lateral water management agreement between both states, ie. keeping the existing run-off regime on the state border.

KEY WORDS: Hybrid hydraulic modelling, hydropower plants, hydraulic analysis, 2D mathematical model, flood hazard, run-off regime

HIBRIDNO HIDRAULIČKO MODELIRANJE HIDROELEKTRANA NA SAVI U BLIZINI DRŽAVNE GRANICE

SAŽETAK: Niz hidroelektrana na donjem toku rijeke Save uključivao bi vodne sustave Vrhovo, Boštanj, Blanca, Krško, Brežice i Mokrice. Prve tri hidroelektrane već su izgrađene, četvrta je u izgradnji, dok su peta i šesta hidroelektrana, Brežice i Mokrice, koje se nalaze u blizini državne granice s Hrvatskom, u procesu projektiranja i optimalizacije s kratkom hidrauličkom analizom. U radu je prikazan hibridni pristup (kombinacija fizičkog i matematičkog modela) hidrauličkom modeliranju protočnih hidroelektrana na donjem toku rijeke Save u Republici Sloveniji. Hibridni model je pristup kojim se

kombiniraju koristi obje hidrauličke metode. Fizički model još uvijek može osigurati preciznije podatke ako je utjecaj turbulencije i drugih 3D protočnih pojava značajan. S druge strane, matematički model ažurira fizički model u fazi gdje je potreban značajan broj analiza, planskih izmjena i prikaza podataka kao pomoć u odlučivanju. Ciljevi hidrauličkog modeliranja su, prvo, definirati trenutni retencijski kapacitet, režim otjecanja i situaciju opasnosti od poplava u predmetnom području. U drugoj fazi, ciljevi su optimalno projektiranje hidroelektrane, uključujući potpunu analizu stanja infrastrukture na lokaciji (cestovne, željezničke, i dr.). Jedan od glavnih ciljeva u ovoj fazi je također poštivanje strogih uvjeta uz državnu granicu koji potječu iz bilateralnih sporazuma na području upravljanja vodama između dviju država, t.j. očuvanje postojećeg režima otjecanja na državnoj granici.

KLJUČNE RIJEČI: hibridno hidrauličko modeliranje, hidroelektrane, hidraulička analiza, 2D matematički model, poplavna opasnost, režim otjecanja

1. INTRODUCTION

Sava, Slovenia's longest river, is most of its way restrained with narrow valleys, that widen into plains as late as some 20 km before state border. It is morphologically, hydrologically and hydraulically very complex with various land use and activities, including a nuclear power plant with cooling water demands. Furthermore, the design of the HPPs Brežice and Mokrice requires levees with side weirs that act as flood overflow structures, which will preserve the existing flood retention areas. According to the EU Directive on Floods, those areas are planned to be designated as significant flood areas and have to be preserved as such. Moreover a strict agreement on conservation of the existing run-off flow regime with the downstream neighbouring Republic of Croatia has to be fulfilled.

The entire modeling area was divided in three partly overlapping parts, each representing the extents of a single hybrid model (Figure 1). The first upstream part of the Sava river is the narrow valley area around HPP Krško.

The much wider downstream sections Krško-Brežice and Brežice-Mokrice were divided with regard to the influential area of each planned HPP. Just upstream of Sava-Krka confluence the HPP Brežice is to be located, and in the downstream section, which borders Croatia, HPP Mokrice is planned. Each of the hybrid models treating those reaches consisted of a vertically distorted physical model and a mathematical model based on MIKE Flood software that couples a 1D numerical approach for river streams (and hydraulic structures) and 2D approach for flooded areas.

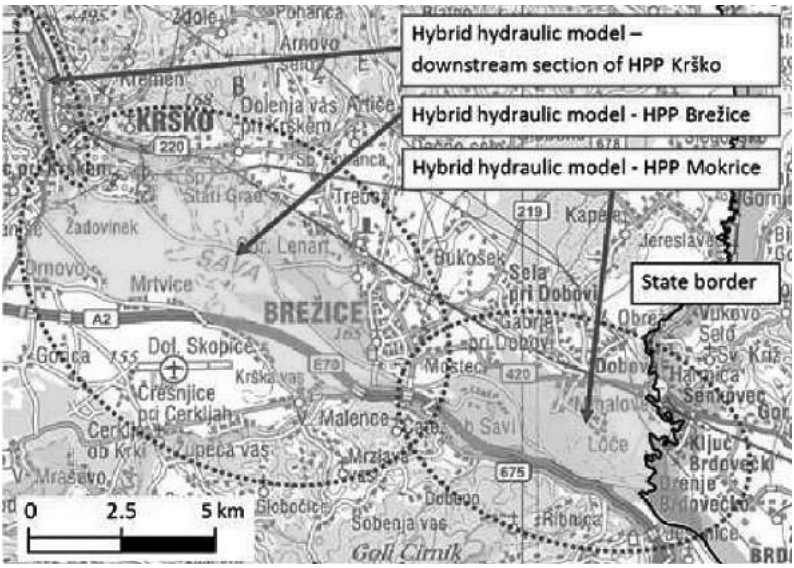


Figure 1: Area in consideration with flood warning map (blue) and presentation of extent of hydraulic models

2. USE OF HYBRID HYDRAULIC MODELS (HHM)

The basic idea of hybrid modeling approach is to effectively combine advantages of both physical and mathematical (numerical) models of the investigated region. In general physical models can more precisely simulate turbulence related phenomena and are more suitable for local flow configurations, while mathematical models can simulate much wider areas, significantly higher discharges and support distinctly faster optimization process. Besides the benefits gained by development of two complementary models for the same area, hybrid modeling also assures mutual verification of both models.

The basic motivation of the hybrid modeling approach can be expressed also in terms of the confidence interval of model results. The emphasis of investigation is of course on higher discharges since they cause problems with flooding. However, field measurements for such occasions, that are so precious for the calibration of models, are as a rule scarce. Usually extrapolation of field data has to be applied and that introduces the question of confidence intervals. The latter can be narrowed with the use of a hybrid model. Investigation on a physical model (PM) is obviously limited with technological limitations (such as spatial capacities of the laboratory) and hydraulic limitations concerning model similarity. On the other hand the appurtenant mathematical model (MM) that is installed in accordance with field data and results from calibrated PM can easily provide the results for even the highest discharges up to probable maximum flow (PMF) of the area in consideration (Figure 2). This is of vital importance in the Krško-Brežice region since it includes the location of Krško nuclear power plant.

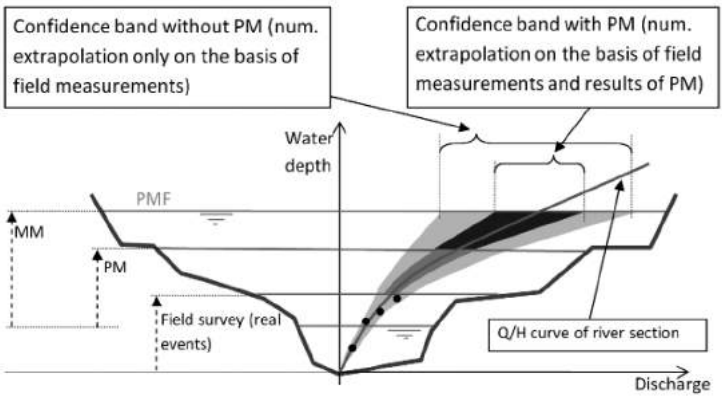


Figure 2: Combining physical model (PM) and mathematical model (MM)

Development of hybrid models took several stages, ranging from acquisition of data from nature to construction, calibration and verification of models. For the most of those stages the process of physical and mathematical modeling ran parallelly. With the hybrid model verified, the optimization of HPP infrastructure employed mainly MM, while the final verification of the optimized HPP design will be accomplished on PM (Figure 3).

In the following sections the currently accomplished stages of model investigation of Krško-Brežice region will be presented as an example of calibration, sensitivity analysis and verification of the model. Some theoretical background of the vertically distorted physical model of the reach will be given as well.

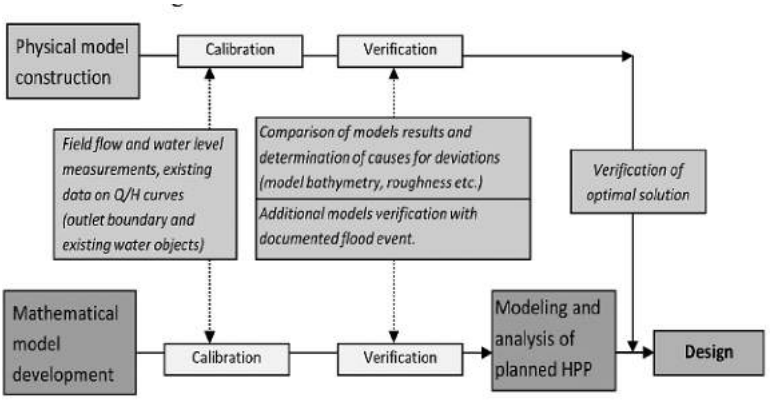


Figure 3: Parallelism of stages in hybrid model approach

3. DEVELOPMENT OF THE MODELS - CURRENT STATE

3.1 Development of HHM

The modelling of a prototype area that includes 11 km long river reach and 23 km^2 of flood plains dictated the use of vertical distortion. This approach allowed to avoid laminar flow on the wide flood plains and assured a well measurable mean water level difference. The choice of distortion factor and of length scales was limited mainly by the capacities

of the laboratory, the modeling accuracy and the following hydraulic limitations (Kobus, 1980):

$$n \le 0{,}1\left(b/h\right)_n$$
$$n_{\max} = \left[0{,}2/\left(k/h\right)_n\right]^{1/3}$$
$$L_{r\max} = C \cdot n^{10/3}\ ,\ C = 5{,}65 \cdot 10^{-3} \cdot \mathrm{Re}_n^{2/3}\left(k/h\right)_n^{7/9},$$

Where b is water surface width [m], C is coefficient, h is water depth [m], k is equivalent sand roughness according to Nikuradse [mm], L_r length ratio [-], n distortion factor [-], Q is discharge [m^3/s] and Re is Reynolds number [-]. Indices are represented with n as prototype quantity and r as relative quantity = prototype / model quantity.

The open space available at the laboratory allowed the realization of a length scale number of $L_r = 125$, which was well within the limitation of length scales, while the distortion factor was chosen as n = 2, as it turned out that $n_{\max}$=2,2 for the Q_n=5000 m^3/s. This led to the discharge scale factor:

$$Q_r = L_r^{5/2} / n^{3/2} = 61763{,}24\,.$$

Construction of the model was done with the aid of hardboard profiles. Concreting of the 5 cm thick upper layer of 1500 m^2 model was completed in several stages demanding considerable effort. The model was equipped with 40 piezometric cylinders for the measurements of water levels and finally coated with cement milk.

The model calibration was achieved by adjusting the river bed and flood plain surface roughness with mostly uniformly distributed patches of sand with various grain diameters, representing the land use (forests, orchards etc.)

The calibrated model was most of all used to investigate water levels at flood discharges, but also to determine inflow and outflow from flood plains. Red dye was injected at different locations to determine pathlines of water flowing over inundations (Figure 4). It turned out that these model flows could be separated by construction of auxiliary walls that ran along analysed pathlines. The quantities of these isolated flows were then measured using V-notch weir.

A hydrodynamic mathematical (numerical) model of the area was developed with MIKE Flood software, which combines 2D modeling (MIKE 21) with 1D modeling (MIKE 11). The main decision for the application of this type of modeling arises from the needs for efficient modeling of hydraulic structures (weirs, gates, spillways). MIKE 11 is also equipped with a control structures module which models the dynamic operation of movable gates dependent on flow (MIKE, 2009). This software capability was a necessary requirement for modeling the dynamic operation of the gates of the run-off river HPP Brežice where final design, which will assure efficient electricity production on one hand and will preserve the same run-off regime with improvement of flood risk on the other hand, has to be optimized.

Figure 4: Photography of physical model with main flood streams determination

The developed MM, which covers about 32 km^2, is presented in Figure 5. The Sava river channel, the Krka river channel as the main tributary and Potočnica creek channel were modeled with 1D model. The rest of the area was modeled with 2D model with a cell size 20x20 m. Such a cell size was selected mainly to reduce computational time of optimization process of design state, where calculations with dynamic operation of movable weir gates are time consuming. As it will be described in the next paragraph, additional full 2D model was also developed with a cell size 10x10 m in the process of verification. Deviations between DMR and model bathymetry, which could have an influence on the hydraulic flow regime, were briefly analyzed and corrected (elevation of roads, walls, etc.).

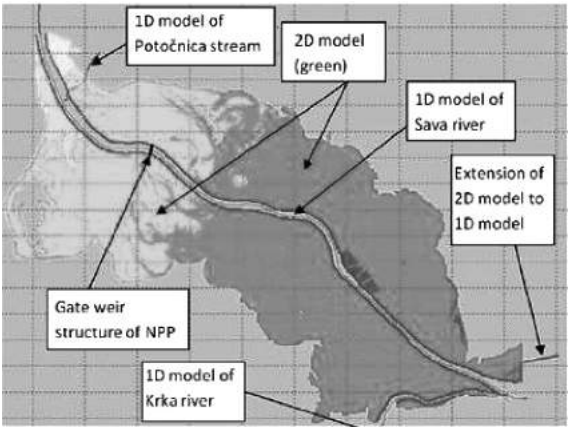


Figure 5: Design of mathematical model – coupling of 1D stream model with 2D flood prone areas

The MM has three inlet boundary conditions and two outlet boundary conditions (one is extension of the 2D model at left bank of the Sava river into 1D model). Besides boundary conditions, inner condition of the Nuclear Power Plant Krško (NPP Krško) weir structure was modeled by using a standard weir formula (Villemonte) (MIKE, 2009).

3.2 Calibration and verification of HMM

Physical and mathematical model were both calibrated independently on the basis of field measurements of water levels during events of higher discharges in the span of 2007 to 2009. Values of Q = 1230 m^3/s, 1595 m^3/s and 2466 m^3/s were used. It was observed on the field that 1595 m^3/s represented bank-full discharge and that at 2466 m^3/s water flowed around right side of the weir at the Krško NPP and over the adjacent plain, as has been designed. Data from all 13 locations positioned on the banks of the Sava channel were taken into consideration.

Calibration of physical model was achieved gradually, reach by reach, by adjusting the model riverbed roughness according to comparison of prototype and model water levels. Mostly uniformly distributed patches of sand (grain size of 8 mm) mixed with cement milk were added or removed as necessary.

Similarly the calibration of mathematical model was completed by gradual adjustment of Manning's roughness coefficient. The process of calibration of the MM was divided into three areas:

- calibration of model downstream (outlet) boundary condition,
- calibration of weir structure parameters of the NPP Krško (as inner boundary condition),
- calibration of roughness coefficients of the Sava main channel and flood areas.

The existing weir stage discharge curve that was determined experimentally on a physical model from 1976 was no longer accurate for the calibration because the Sava riverbed was deepened downstream of the weir structure in the last 20 years. Therefore, the MM cross sections of the Sava river from 1986 were used for verification of the MM results, where flood event in year 1990 should be simulated properly. For the simulations of the present conditions the configuration of riverbed as measured in 2007 was used. Deeper channel bottom has reduced backwater effect at weir as expected.

Much effort was assigned to sensitivity analysis, which is an important aspect of hydraulic modelling (Mlačnik et al., 2010). The sensitivity analysis where roughness coefficients of flood plains (2D model) were changed (± 25 %) showed that water levels varied in range ± 0,08 m at higher discharges. Since those variations are insignificant in comparison to other initial parameters, roughness coefficients for flood plains remained at initial values.

Roughness coefficients for 1D model were calibrated for sections divided in compliance with the measurement locations of the Sava river channel and separately for each discharge of field survey.

As a result of calibration the agreement between prototype and model water levels (measured on physical or calculated with mathematical model) was mostly satisfactory. The difference between physical model and prototype levels was within ± 10 cm for nature, while mathematical model allowed even better agreement.

4. OPTIMIZATION PROCCESS OF THE PLANNED HPP BREŽICE

4.1 Basic requirements in the optimization of HPP Brežice

In optimization process of structures and operation of HPP Brežice next main terms or requirements must be considered:

- Detailed consideration of safety operational requirements for Nuclear Power Plant Krško (NPP Krško), especially assurance of undisturbed cooling water intake and flood risk protection (higher standards of safety)
- Prevention of influence on downstream run-off flow regime, which is agreed between Slovenia and Croatia with Cross-border agreement and
- According to national regulation retention capacity of this Sava River section must be preserved with consideration of flood mitigation of urban areas

4.2 Hydraulic modelling of the future state

On the basis of conceptual design, prepared by designer of HPP Brežice (IBE d.d.), which determined locations and dimensions water structures (weir, high discharge spillways, levees) for the optimization of future state, mathematical model was developed. Scheme of model and included water infrastructure and land use is presented on figure 7. To reach defined requirements in the optimization process different variants were analysed.

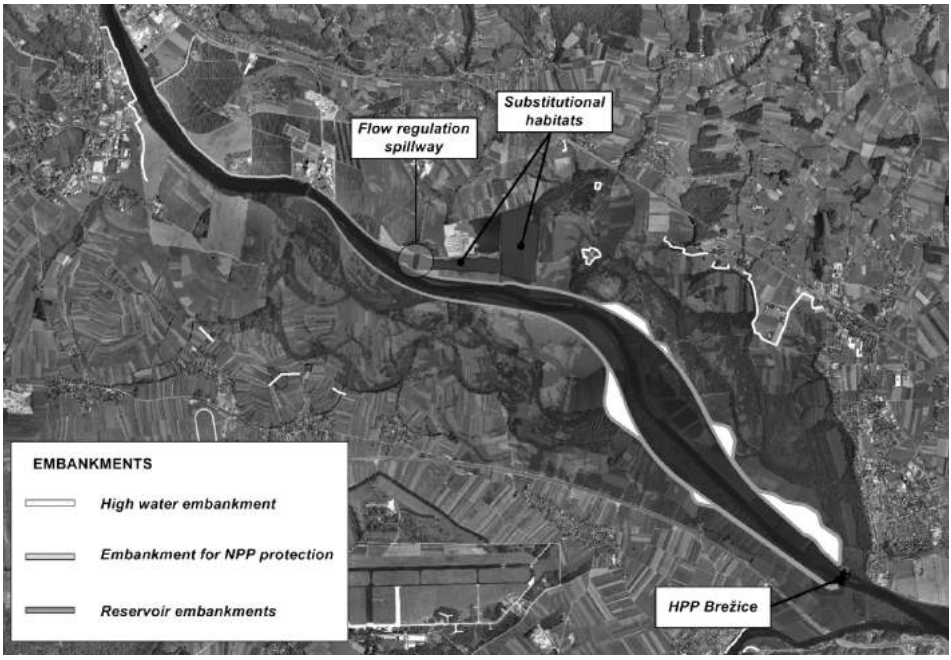


Figure 6: Planned structures and land use considered in the analysis and optimization

5. RESULTS

5.1 Flood hazard mitigation

According to the regulations in the area flood risk management land use planning must consider mitigation or at least preservation of current flood safety. Figure 8 presents the extension of flood in the planned area in the case with hydrograph with peak discharge Q = 3960 m^3/s.

In the final phases of the optimization process main consideration was put on lateral inundation, where main objective was to retain capacities of retention areas on both banks of Sava river. Modelling and analysis showed that there is no need to plan lateral spillway on right bank (upstream from weir of NPP Krško), namely with some local arrangements of the bank the overflow to right retention area can be preserved. Also flood mitigation at lower flood discharges can be achieved. Left bank spillway is needed, and to meet efficient overflow discharges to the left retention area, it has to be equipped with regulation gates.

Figure 9 shows final stage of optimization. It can be seen that flood hazard on right retention area upstream of NPP Krško is significantly reduced. Main reason for that is due to the better conductivity of Sava River in that section.

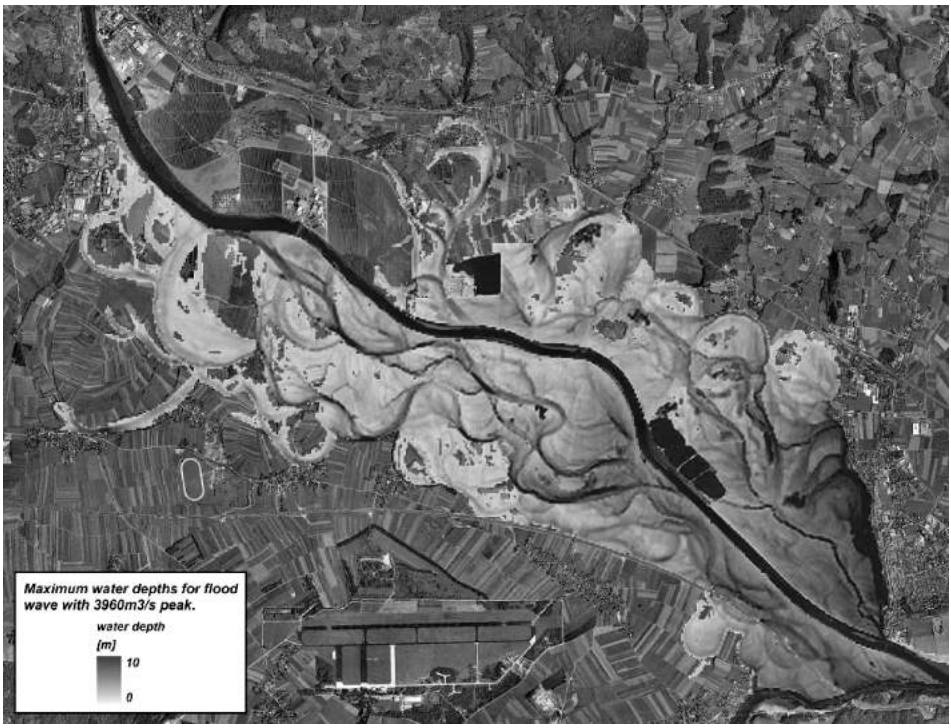


Figure 7: Flood extension and maximum depths at the flood event with peak flow of Sava River Q = 3960 m^3/s and Krka River Q = 374 m^3/s at Krško Brežice Plain for current state

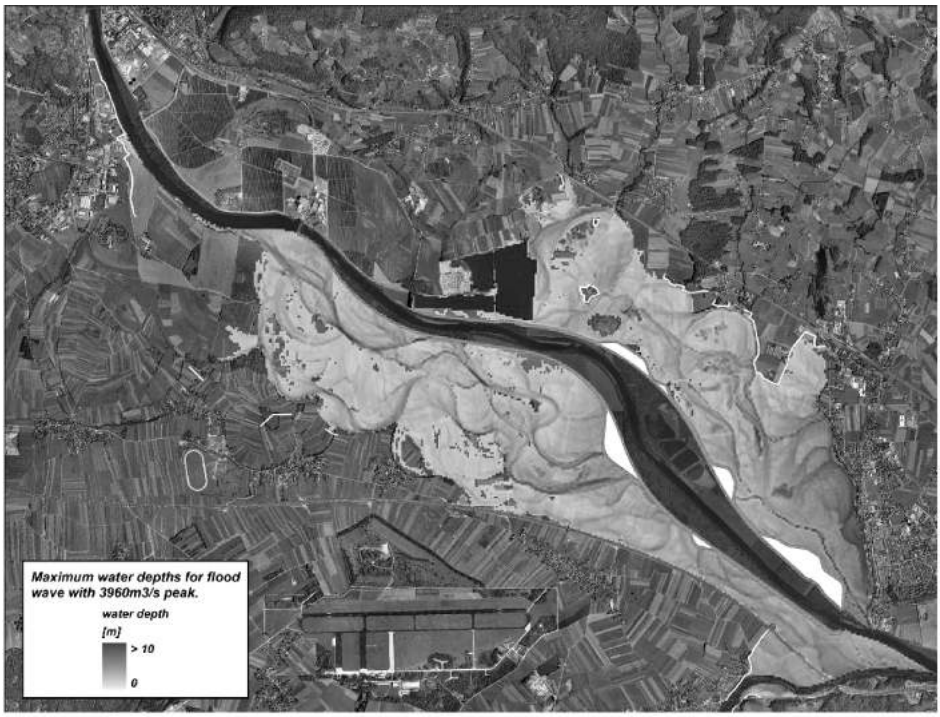


Figure 8: Flood extension and maximum depths at the flood event with peak flow of Sava River Q = 3960 m³/s and Krka River Q = 374 m³/s at Krško Brežice Plain for future state

5.2 Impact of future HPP Brežice on the run-off flow regime on the state border

As mentioned above, one of main conditions, which have to be fulfilled at design of HPP Brežice is also preservation of run-off flow regime downstream. Therefore, in optimization process of structures of HPP Brežice downstream hydrographs of current and future state must be kept the same.

To control and compare downstream run-off flow regime two downstream sections were selected. First was selected after the confluence of Sava and Krka (Brežice Hydrograph) rivers and second one on the border between Slovenia and Croatia (Border Hydrograph).

Brežice hydrographs for current and future state were determined on the basis of the results of calibrated and verified mathematical model with defined confidence interval. For Border Hydrographs determination additional mathematical model for the purposes of modelling of next downstream HPP Mokrice (area of Čatež Plain) was used, which was established in the same procedure as mathematical model for HPP Brežice. For inflow hydrographs for mathematical model HPP Mokrice resulted outflow hydrographs of mathematical model HPP Brežice were used.

Figure 10 shows comparison of the resulted hydrographs for current state (CS) and future

state (FS) for both control sections. Comparison of the results shows that the time of peak discharge occurrence for future state (with HPP Brežice) is not accelerated.

Also comparison of peak discharges shows that peak discharge for Brežice Hydrograph would increase about 50 m^3/s (app. 1,2 %) and due to the retention effect on Čatež Plain it would increase only for 25 m^3/s (app. 0,6 %) when Border Hydrography are compared. Both differences are smaller than usual tolerance of mathematical models. So it can be determined that influence of HPP Brežice is minimized to the acceptable level, while peak discharge occurrence is not accelerated.

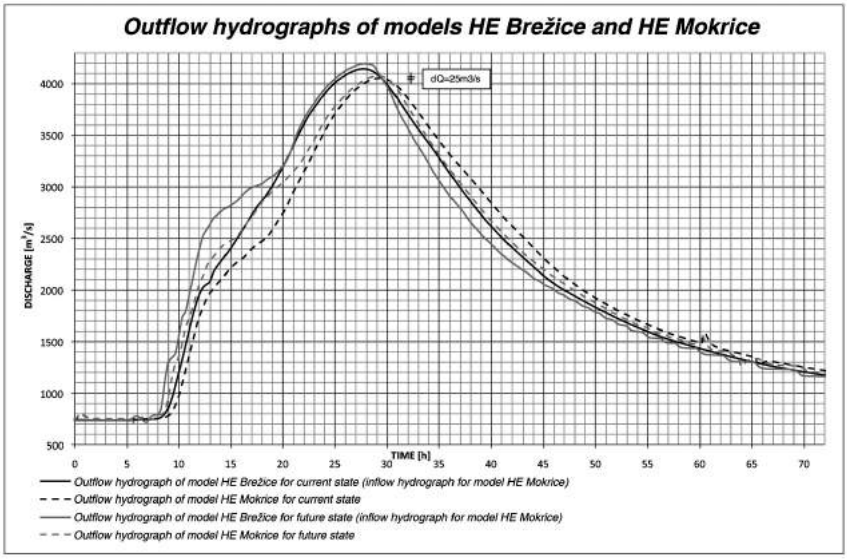


Figure 9: Brežice and Border Hydrographs comparison for current state (CS) and future state (FS)

CONCLUSION

Because of the importance and complexity of analysed area of Krško Brežice Plain, where HPP Brežice is planned, hybrid hydraulic modelling was applied. At this approach physical and mathematical models are established for the same area of analysis. Because of that more accurate calibration and verification can be done, so the trust interval of the results can be significantly improved. Hybrid model HPP Brežice was calibrated with data of past events, checked with sensitivity analysis and with flood event in year 1990 also verified.

Results determined on the basis of hybrid model (especially on the basis of mathematical model) where an optimisation process of water structures and land use took place, shows that the optimized variant fulfil the requirements. These results allow starting more detail design of HPP Brežice. Especially important were the outcomes that retention capacities and flood hazard in planned area were kept, flood safety in planned area was improved and run-off flow regime at the state border was not impacted.

REFERENCES

[1] D. H. Yoo, T. H. Lee. 2007. Friction Factor of Smooth Turbulent Open Channel Flow. 32th Congress of IAHR, July 1-6, 2007, Venice, Italy

[2] F. Steinman, S. Šantl, G. Rak, M. Müller. 2010. Vpliv gradnje in obratovanja HE Brežice na odtočni režim reke Save v mejnem profilu z Republiko Hrvaško. Ljubljana.

[3] G. Anderson, I.D. Rutherfurd, and A.W. Western. 2006. An analysis of the influence of riparian vegetation on the propagation of flood waves. Environmental Modelling and Software 21, pp. 1290-1296

[4] H. T. Nguyen, and J. D. Fenton. 2005. Identification of Roughness in Compound Channels, MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand

[5] H. Kobus (editor). 1980. Hydraulic Modelling. Verlag Paul Parey, Hamburg

[6] J. W. Hall et.al. 2009. Sensitivity Analysis for Hydraulic Models. J. Hydr. Engrg. Vol. 135, Issue 11, pp. 959-969.

[7] MIKE by DHI. 2009. MIKE 11 – A modelling system for Rivers and Channels – User Guide. MIKE by DHI 2009

[8] J. Mlačnik et. al.. 2010. Inception report – project Hybrid hydraulic model development for downstream section of HPP Krško, section of HPP Brežice and section of HPP Mokrice. Institute for hydraulic research – hydraulic laboratory. Ljubljana

[9] P.P. Nayak, K.K. Khatua, and K. C. Patra. 2009. Variation of Resistance Coefficients in a Meandering Channel. National Conference Advances in Environmental Engineering, 14-15 Nov 2009, at NIT, Rourkela

[10] S. Šantl, G. Novak, G. Rak, F. Steinman. 2010. Hybrid hydraulic modelling approach in the process of hydropower plant design. V: ISHPF 2010, Nanjing, China, sep. 2010

AUTORI

assist. Matej Mueller [a]
assist. Gašper Rak [b]
prof. dr. F. Steinman [c]
assist. Gorazd Novak [d]
assist. mag. Sašo Šantl [e]

[a] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, KMTe, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenia, matej.mueller@fgg.uni-lj.si

[b] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, KMTe, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenia, gasper.rak@fgg.uni-lj.si

[c] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, KMTe, Hajdri-

hova 28, 1000 Ljubljana, Slovenia, franci.steinman@fgg.uni-lj.si

[d] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, KMTe, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenia, gorazd.novak@fgg.uni-lj.si

[d] University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, KMTe, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenia, saso.santl@fgg.uni-lj.si

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.11.

UPRAVLJANJE VODNIM REŽIMOM LIVANJSKOG POLJA U CILJU RESTAURIRANJA MOČVARE I ZAŠTITE BIOLOŠKE RAZNOLIKOSTI

Admir Ćerić, Nijaz Lukovac, Nijaz Zerem

SAŽETAK: Livanjsko polje, koje se nalazi u slivu rijeke Cetine, najveće je krško polje u Bosni i Hercegovini i jedno od najvećih u svijetu. Vremenska raspodjela pojave voda na prostoru Livanjskog polja izrazito je neravnomjerna tijekom godine, zbog čega se pučanstvo na ovom prostoru kroz povijestsuočavalo s problemom plavljenja u vlažnim razdobljima, te problemom suše tijekom ljeta.

U prošlosti se gospodarstvo na ovom području temeljilo na poljodjelstvu i stočarstvu, uz uporabu prirodnih vrijednosti i raspoloživih resursa. Šezdesetih i sedamdesetih godina dvadesetoga stoljeća urađen je niz projekata za višenamjensku uporabu voda, koji uključuju izgradnju akumulacije Buško blato i retenciju Lipa u jugoistočnom dijelu Livanjskog polja, te derivacijskog kanalskog sustava i bazena Lipa u središnjem dijelu. S akumulacijom Buško blato izvedena je i hidroelektrana Orlovac, čija se strojarnica nalazi u Republici Hrvatskoj. Izvedeni sustav planiran je kao višenamjenski, ali je glavna namjena proizvodnja električne energije na HE Orlovac.

Od travnja 2008. godine, Livanjsko polje uvršteno je na Ramsarsku listu močvara od međunarodnog značaja, gdje su uključene močvare koje posjeduju posebne ekološke, botaničke, zoološke, limnološke i hidrološke značajke. U novim uvjetima, uporaba prostora Livanjskog polja na sadašnjim osnovama više nije prihvatljiva.

U radu je prezentiran novi koncept upravljanja vodnim režimom, koji će osigurati zaštitu i održivu uporabu prirodnih resursa ovog područja, s težištem na zaštiti biološke raznolikosti. Od tri razmotrene alternative, najbolje rješenje predstavlja izgradnja sustava ustava, koji omogućuje održavanje razine vode u močvari, čime će se stvoriti uvjeti najsličniji onima koji su tu vladali prije bilo kakvih ljudskih intervencija. Uz to, predviđeno je kontrolirano prevođenje vode iz sliva ponora Kazanci prema retenciji Čaprazlije, koju bi po ovom prijedlogu trebalo također napraviti, u cilju akumuliranja vode i njenog daljeg višenamjenskog korištenja.

KLJUČNE RIJEČI: vodni režim, zaštita, biološka raznolikost, močvara, treset

SUMMARY: The Livanjsko Field, which is situated in the Cetina River watershed, is the largest karst field in Bosnia and Herzegovina, and one of the largest in the World. Water regime in the field exhibits very irregular patterns on an annual scale, forcing the local population throughout the history to deal with floods during the wet seasons and droughts during the summer time.

In the past, the economy of the area was based on agriculture and livestock farming, in addition to utilization of available natural resources. During nineteen sixties and seventies, a number of projects in connection to the multipurpose water use were carried out, including the construction of the Buško Blato Reservoir and the Lipa Retention in the southeastern area of the Livanjsko Field, as well as the Lipa Diversion Channel and Retention in the central part. Jointly with the Buško Blato Reservoir the Orlovac Hydro Power Plant was built, which powerhouse is located in Croatia. The system was designed to be a multipurpose one, but the main purpose has been power production at the Orlovac HPP.

As of April 2008 the Livanjsko Field has been included into the Ramsar list of internationally significant wetlands which have unique ecological, botanic, zoological, limnological and hydrologic features. Under the new circumstances, the current land use practices in the field are no more acceptable.

The paper presents a new water management concept, which will provide protection and sustainable utilization of natural resources in the area, with the focus to protection of biodiversity. Out of three considered alternatives, the best solution is the construction of a system of gates, which keep the water level in the wetland, creating the conditions that resemble those before the human interventions. In addition, it is foreseen to transfer the water from the Kazanci Sink watershed into the Čaprazlije Retention, which should be built as part of this proposal, in order to store water and provide its multipurpose use.

KEY WORDS: water regime, protection, biodiversity, wetland, peat

1 UVOD

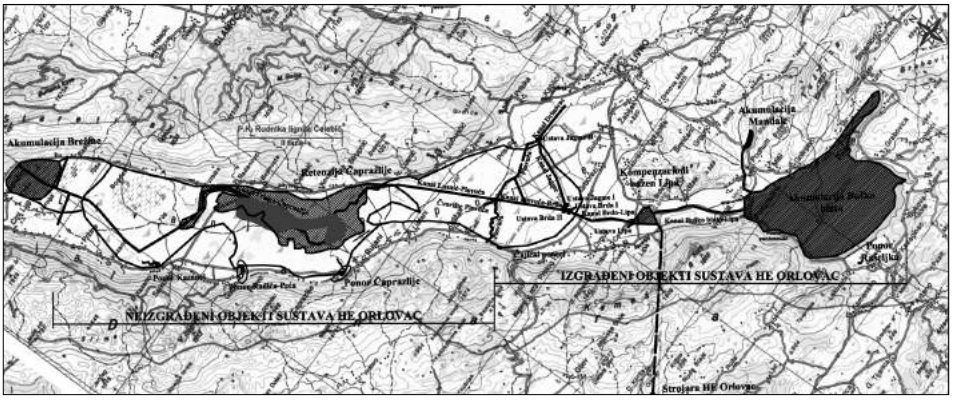
Livanjsko polje, koje se nalazi u slivu rijeke Cetine, najveće je krško polje u Bosni i Hercegovini i jedno od najvećih u svijetu. Vremenska raspodjela pojave voda na prostoru Livanjskog polja veoma je neravnomjerna tijekom godine, zbog čega se pučanstvo na ovom prostoru kroz historiju suočavalo sa problemom plavljenja u vlažnim razdobljima, te problemom suše tijekom ljeta.

Hidrološki režim voda u polju karakteriziraju izrazito vlažna i sušna razdoblja. Tijekom vlažnih razdoblja, putem velikog broja krških izvora i estavela, te putem tri stalna vodotoka, polje se puni vodom. Odvodnjavoda u prošlosti bilo je moguće jedino preko ponora, lociranih uz jugozapadni rub polja, kao i dijelom uz sjeverozapadni, gdje se nalazi i nekoliko estavela. Već dugo vremena postoji interes za utvrđivanje mehanizama dotjecanja i evakuiranja voda iz polja; u prvo vrijeme, zbog osiguravanja uvjeta da se dijelovi polja koriste u poljoprivredne svrhe, a kasnije da se lakše dođe do raspoloživih resursa, kojima polje obiluje.

U prošlosti se gospodarstvo na ovom području temeljilo na poljodjelstvu i stočarstvu, uz uporabu prirodnih vrijednosti i raspoloživih resursa. Šezdesetih i sedamdesetih godina dvadesetoga stoljeća realiziran je projekt I faze hidroelektrane (HE) Orlovac, koji uključuje izgradnju akumulacije Buško blato i retencija Lipa i Mandak u jugoistočnom

dijelu Livanjskog polja. S akumulacijom Buško blato izvedena je i HE Orlovac, čija se strojarnica nalazi u Republici Hrvatskoj. Izvedeni sustav planiran je kao višenamjenski, ali je glavna namjena proizvodnja električne energije na HE Orlovac. Osim toga, sustav je namijenjen i za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta u sušnim razdobljima, te odvodnjavanje u vlažnim (ZZVS i ZZVM, 2002).

HE Orlovac je otpočela s radom 1973. godine, i od tada je odvodnja?? voda iz polja moguće je i kroz objekte tog energetskog sustava. Izgradnjom objekata u okviru I faze HE Orlovac stvorena je mogućnost upravljanja vodama u dijelu polja u kojemu postoje stalni vodotoci i koji je u prošlosti bio najduže plavljen (slika 1). Pojava velikih količina voda u vlažnom dijelu godine i njena gotovo potpuna nestašica za ljudsku uporabu tijekom sušnog razdoblja, nametnula je potrebu izgradnje objekata za upravljanje i uporabu voda. II faza sustava HE Orlovac podrazumijevala je izgradnju objekata za upravljanje i uporabu voda iz sjeverozapadnog dijela polja. U tom dijelu, veliko područje zahvaća močvara i tresetište Ždralovac (slika 1). S prostora sjeverozapadnog dijela polja u prosjeku godišnje otječe putem ponora količina od 4,6 m^3/s vode (Elektroprojekt, 2006). Na godišnjoj razini to je ukupna zapremina od preko 145 miliona m^3. Radi se o značajnim količinama voda s energetskog gledišta, te su stoga ti prostori i bili predmet razmatranja u okviru projekta II faze HE Orlovac. Ova faza HE Orlovac predviđala je izgradnju objekata za akumuliranje i prijenos voda iz sjeverozapadnog dijela polja prema već izgrađenim objektima I faze HE Orlovac. S obzirom da se na sjeverozapadnom dijelu polja nalazi značajno nalazište lignita na prostoru Čaprazlija (slika 1), realiziranje II faze projekta HE Orlovac je kasnilo. Naime, bilo je potrebno razriješiti nesuglasje između rezervi ugljena i na istoj lokaciji planirane retencije Čaprazlije.



Slika 1. Izvedeni i planirani objekti sustava HE Orlovac na području Livanjskog polja

Nakon raspada bivše Jugoslavije, promijenjene su društveno-političke prilike, s obzirom da su se nerazdvojivi objekti jednog energetskog sustava našli u dvije države. Funkcioniranje HE Orlovac i uporaba do sada izgrađenog dijela sustava regulirani su odgovarajućim sporazumom između Republike Hrvatske i BiH. II fazom HE Orlovac trebalo je urediti režim voda u sjeverozapadnom dijelu polja, te izvršiti potpuno isušivanje i melioraciju prostora Ždralovac (ZZVS, 1981). S obzirom da su se značajno izmijenile okolnosti, kako u geopolitičkom, tako i u ekološkom pogledu, realiziranje II faze HE Orlovac dovedeno je u pitanje.

Od travnja 2008. godine Livanjsko polje je uvršteno na Ramsarsku listu močvara od međunarodnog značaja, gdje su uključene močvare koje posjeduju posebne ekološke, botaničke, zoološke, limnološke i hidrološke značajke. U novim uvjetima, uporaba prostora Livanjskog polja na sadašnjim osnovama više nije prihvatljiva. Tijekom procesa usklađivanja uvjeta uporabe prostora sa zahtjevima Ramsarske konvencije, osobitu pažnju potrebno je usmjeriti na rehabilitiranje tresetišta, restauriranje močvare i zaštitu biološke raznolikosti na području Livanjskog polja, sukladno suvremenim principima ostvarivanja gospodarske dobiti. Ugroženost močvare i tresetišta ponajprije se ogleda u poremećenom hidrološkom režimu, kao posljedica antropogenog djelovanja. Prokopavanje odvodnih kanala iz močvare i sadašnje eksploatiranje treseta uzrokuju smanjenje razine vode tijekom ljeta, sušenje treseta po rubu močvare i pojavu njegova samozapaljenja.

2 ZNAČAJKE POSTOJEĆEG REŽIMA VODA NA PODRUČJU LIVANJSKOG POLJA

Livanjsko polje nalazi se u jugozapadnom dijelu Bosne i Hercegovine i zahvaća površinu od oko 400 km^2. Ukupna dužina polja iznosi oko 65 km, a prosječna širina oko 6 km (slika 1). Nadmorska visina kreće se od 702 do 710 m.n.m., s izuzetkom nekih dijelova gdje denudirani ostaci dna nekadašnjeg jezera prelaze kotu 715 m.n.m. Za nastajanje Livanjskog polja najznačajniji utjecaj je imala tektonika, dok je u kasnijem procesu denudacije polje konačno modelirano (Komatina, 1975). Na više lokaliteta u polju nalaze se zamočvarena područja, ostaci spomenutoga jezera, koje je oteklo u neogenu. U tom razdoblju, duž razlomljenih zona nastali su ponori (Komatina, 1975). Neposredno uz rub polja uzdižu se visoki planinski obronci, koji polje zatvaraju sa svih strana.

U hidrološkom pogledu Livanjsko polje u cijelosti pripada slivu rijeke Cetine. Od stalnih vodotoka tu se nalaze rijeke Bistrica, Sturba i Žabljak. Bistrica i Žabljak nakon zajedničkog ušća utječu u odvodni kanal, u koji se nakon jedan kilometar ulijeva Sturba. Ovim kanalom vode otječu prema Buškom blatu. Sve ostale prirodne vodne pojave u polju su povremenog karaktera.

Prije izgradnje prve faze HE Orlovac, vode stalnih vodotoka otjecale su putem nekoliko ponora lociranih u središnjem dijelu Livanjskog polja na njegovom jugozapadnom obodu. To su Veliki, Opaki i Kameniti ponor, odnosno niz ponora nazvanih Čajićki ponori.

Nakon realiziranja prve faze HE Orlovac, vode stalnih vodotoka, zajedno s vodama povremenih izvora iz središnjeg dijela polja, od kojih je dominantan izvor Kablić, sustavom izgrađenih kanala otječu prema retenciji Lipa, odnosno prema akumulaciji Buško blato.

U okviru prve faze HE Orlovac, u središnjem i jugoistočnom dijelu polja izgrađen je sustav hidrotehničkih objekata, putem kojih se može upravljati vodama iz središnjeg i jugoistočnog dijela polja. U sjeverozapadnom dijelu polja trenutno nema uvjeta za umjetno upravljanje vodnim režimom, te je stoga vrlo bitno poznavati njegove značajke.

Na ovom području mogu se izdvojiti dvije hidrološki zasebne cjeline. Jednu cjelinu predstavlja najsjeverniji dio polja, u koju spada prostor močvare Veliki Ždralovac, odakle se evakuiranje vode izvodi kroz ponor Kazanci, te predponorna retencija koja se formira u i oko ponorne zone Kazanci. Drugu hidrološku cjelinu predstavlja područje Čaprazlija, gdje se također formira prirodna retencija, kao posljedica povećanih dotjecanja i smanjenja propusne moći ponora Čaprazlija. Dotjecanje u prostor Čaprazlija odvija se vodoto-

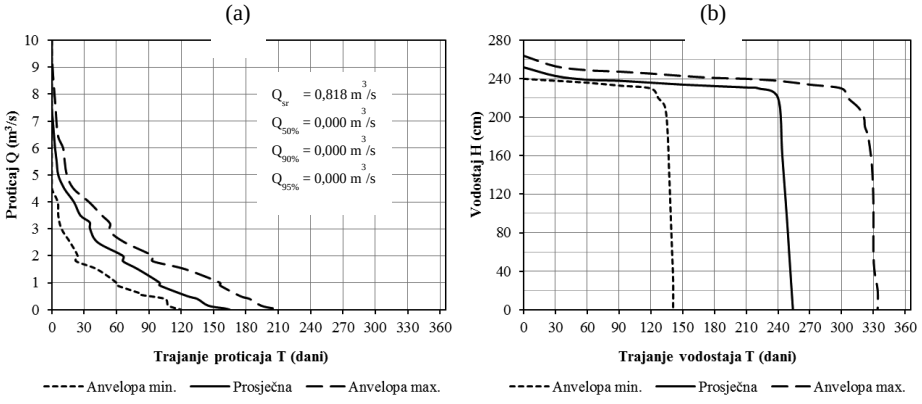
kom Jaruge (to su vode iz Kazanačke predponorne retencije koje prolaze kroz Bajmunte), a prije izgradnje sustava HE Orlovac dotjecanje se odvijalo i vodotokom koji ima isti naziv Jaruga, a dolazio je iz pravca središnjeg dijela Livanjskog polja (područje Jagme), koje se sada nalazi u sustavu HE Orlovac.

Na prostor tresetišta i močvare Ždralovac dotječu vode iz sjeverozapadnog dijela polja putem većeg broja izvora i estavela, od čega je najznačajniji izvor Bastašica. Ovaj vodotok aktivan je isključivo u vlažnom dijelu godine, dok ljeti presušuje (tablica 1 i slika 2a). U prosječnoj godini vodotok Bastašica aktivan je 160 dana, u sušnoj godini 120, a u kišnoj godini 200 dana (Elektroprojekt, 2006).

Pored vodotoka Bastašica, sustavna promatranja izvode se i u blizini ponora-estavele Bastasi. Važno je istaknuti da trajanje vodostaja na estaveli Bastasi održava stanje razine vode u močvari-retenciji Ždralovac. Na ovoj vodnoj pojavi nisu definirane količine istjecanja, ali su praćene razine, na osnovu kojih se može zaključiti da retencija (poplava) na području Ždralovca u prosječnoj godini traje 210 dana, u sušnoj godini 120 dana (Elektroprojekt, 2006), što na neki način koincidira s trajanjem tečenja vodotoka Bastašica, dok u vlažnoj godini retencija traje oko 11 mjeseci, odnosno oko 330 dana (slika 2b).

Vodotok	Vodomjerna stanica	Q_{sr} (m^3/s)	Q_{min} (m^3/s)	Q_{max} (m^3/s)	Period obrade	Napomena
Bastašica	Šegrtove kuće	0,82	0,0	9,7	1963-1970	Presušuje svake godine više mjeseci
Ševarova Jaruga -ponor	Kazanci	1,86	0,0	6,63	1949-1991	Presušuje
Tovarnica Jaruga	Čaprazlije	3,61	0,0	55	1964-1990	Za čitavo razdoblje istraživanja
		5,41	0,0	55	1964-1972	Samo do 1972. godine
		2,76	0,0	49	1973-1990	Od 1972. do 1990. nakon izgradnje I faze HE Orlovac

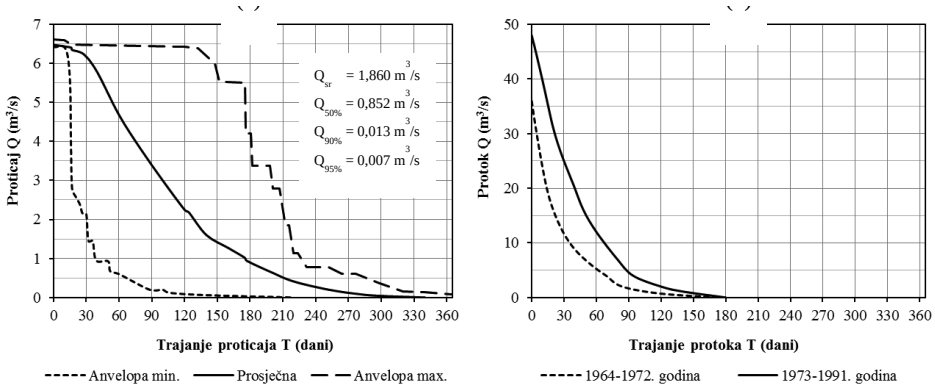
Tablica 1. Osnovni hidrološki parametri značajnijih vodotoka na području Livanjskog polja



Slika 2. Linija trajanja protoka Bastašice na VS Šegrtove kuće (a) i linija trajanja vodostaja ponor-estavela Bastasi na VS Bastasi (b)

Izlaz iz najsjevernijeg dijela Livanjskog polja, odnosno iz močvare Ždralovac čini ponor Kazanci. Značajnija retencija, odnosno plavljenje ponora Kazanci formira se iznad kote 705 m.n.m. pa do 706 m.n.m. U prosječnoj godini retencija traje cca 1 mjesec, dok je u kišnoj godini trajanje retencije (poplava) mogućno oko 4 mjeseca. U prosječnoj godini ovaj ponor ne presušuje (slika 3a), u kišnoj godini minimalni protok ne pada ispod 45 l/s, dok je u sušnoj godini područje Kazanci suho 160 dana (Elektroprojekt, 2006). Kroz ponor Kazanci vode podzemno otječu prema vrelu Cetine. U vrijeme poplava, vode sa područja Kazanci otječu u područje Čaprazlija vodotokom Jaruga.

Na prostoru Čaprazlija tijekom vlažnog dijela godine formira se retencija koja se puni sa prostora Velikog Ždralovca i predponorne retencije Kazanci, te s područja dvije Jaruge, koje su u direktnom slivu retencije Čaprazlije. Dotoci u retenciju Čaprazlije praćeni su na vodomjernim stanicama (VS) Bajmunti i Kaldrma, a otjecanje iz ove retencije praćeno je na VS Čaprazlije-ponor i VS Vrbica-Vrbička jaruga. Analizirajući nivograme za navedene vodomjerne stanice, može se konstatirati da je puštanje u rad prve faze sustava HE Orlovac prouzročilo promjenu režima velikih voda na vodotoku Tovarnica jaruga VS Čaprazlije, i na ulazu u Kameniti ponor, dok je jednovremeno režim velikih voda na VS Kazanci ostao nepromijenjen. Od 1973. godine, na poplave u zoni Čaprazlija najviše utječu vode Jaruge, koja se ulijeva preko Bajmunta u ovaj prostor. To su praktično samo vode s vlastitoga sliva, gdje pripadaju Mali Ždralovac, estavela Vrbica, te vode koje se prelijevaju iz predponorne retencije Kazanci, kada su razine vode veće od 705,5 m.n.m.



Slika 3. Linija trajanja protoka Ševarove Jaruge na ponoru Kazanci (a) i linija trajanja protoka kroz ponor Čaprazlije za period 1964-1972. i 1973-1991. godina (b)

Na osnovu raspoloživih podataka određena je količina otjecanja kroz ponor Čaprazlije. Srednja količina otjecanja za cjelokupno razmatrano razdoblje (1964.-1990. godine) iznosi Q_{sr} = 3,61 m^3/s (tablica 1), srednja količina otjecanja samo za razdoblje 1964.-1972. godine, do izgradnje I faze HE Orlovac, iznosi Q_{sr} = 5,41 m^3/s, a prosječno otjecanje kroz ponor za razdoblju nakon izgradnje HE Orlovac, iznosi Q_{sr} = 2,76 m^3/s. Razlog za značajno smanjenje prosječnog otjecanja kroz ponor Čaprazlije je odvođenje voda iz središnjeg dijela polja (područje Jaruge) prema Buškom blatu i sprječavanje preli-

jevanja voda iz pravca Kamenitog ponora prema Čaprazlijama. To je izazvalo smanjenje maksimuma velikih voda za oko 10%, ali se značajnije smanjilo trajanje svih protoka, što je dovelo do smanjenja srednjeg otjecanja za oko 50%. Trajanja protoka u razdobljima 1964.-1972. i 1973.-1991. godine prikazana su na slici 3b.

Kada je u pitanju režim voda u zahvatu tresetišta i močvare, temeljem prethodnih podataka moguće je definirati prosječno raspoložive količine koje se mogu višenamjenski koristiti. Prosječni protoci na ponoru Kazanci i Čaprazlije su $Q_{sr,Kaz} = 1,86$ m^3/s i $Q_{sr,Čap} = 2,73$ m^3/s, tako da ukupno raspoloživa količina voda iz sjeverozapadnog područja Ždralovac-Čaprazlije iznosi $Q_{sr} = 4,59$ m^3/s. Ovaj prosječni protok omogućava godišnje akumuliranje voda obujma od 144.750.000 m^3, što je oko 17% sadašnjeg obujma akumulacije Buško blato. Naravno, dio te količine treba ostaviti za održavanje bilance voda izvorišta koja se prihranjuju s ovoga područja, a koja se nalaze u Republici Hrvatskoj.

3 PRIJEDLOG UPRAVLJANJA VODNIM REŽIMOM U FUNKCIJI ZAŠTITE MOČVARE I TRESETIŠTA

Na području Ždralovca, dužina tresetišta iznosi oko 10 km, a širina se kreće od 3 km u sjeverozapadnom do 5 km u jugozapadnom dijelu polja. Ovo tresetište nastalo je u dijelu polja gdje nema stalnih vodotoka. Na prostoru Ždralovca, u vlažnom dijelu godine, listopad-lipanj, po obodu proradi veliki broj povremenih izvora, zbog čijih je dotoka na području Ždralovac formirana prirodna retencija, koja praktično omogućava postojanje močvare i tresetišta.

U južnom dijelu Ždralovca, u razdobljima 1926.-1929. i 1935.-1936. godine, dogodile su se izvjesne promjene u njegovoj evoluciji. Tada je izvršeno čišćenje ponora Kazanci i prokopavanje kanala Mrtvica na dužini od 2,2 km. To je ubrzalo odvodnju voda iz tresetišta, a samim tim dogodile su se izvjesne promjene u pedogenetskim procesima, u pravcu stvaranja „murša“ na rubnim plitkim tresetima, gdje često dolazi do snižavanja razine i do nestanka podzemne vode u ljetnom razdoblju (Vlahinić, 1969). Navedena konstatacija jasno ukazuje od kada datira problem ugroženosti močvare i najdirektnije dijagnosticira deficit vode kao direktni uzrok. Negativni utjecaji, kao što su eksploatiranje treseta, uz deficit vode u ljetnom razdoblju i pojavu požara, zasigurno ugrožavaju močvaru u mjeri u kojoj je doveden u pitanje njen opstanak.

U tom smislu, mogućno je predložiti tri načina upravljanja vodama za potrebu očuvanja močvare i tresetišta te zaštitu biološke raznolikosti (IHGF, 2010):

- Zaštita tresetišta kontrolom otjecanja iz prostora močvare;
- Akumuliranje valova velikih voda i višenamjenska uporaba akumuliranih voda;
- Kombinacija dva prethodna prijedloga, uz provođenje voda iz predponorne zone Kazanci prema retenciji Čaprazlije.

3.1 Zaštita tresetišta kontrolom otjecanja iz prostora močvare

Da bi se zaštitila močvara i tresetište Ždralovac, u prvom redu je neophodno osigurati da se, osim evapotranspiracije, ne događa dodatni gubitak vode koji uzrokuje značajnije snižavanje razine podzemne vode. Naime, prema nekim mjerenjima (Vlahinić, 1969), ra-

zina vode tijekom ljeta spadne do 0,8 m ispod površine terena, kao posljedica evapotranspiracije. Ranije spomenutim izvođenjem kanala Mrtvica (Ždralovački kanal) omogućeno je znatno brže evakuiranje voda iz područja močvare Ždralovac. Pored toga, izgradnja kanala prouzročila je opće spuštanje razine vode, odnosno evakuiranje i statičkih rezervi voda u močvari, što je imalo za posljedicu njeno postupno uništavanje, a naročito izraženo kroz pojavu požara.

Iz toga razloga, procjenjuje se da bi izvođenje sustava ustava na odvodnim kanalima iz prostora Ždralovac, omogućilo upravljanje režimom voda i zadržavanje Ždralovačke retencije na potrebnoj razini tijekom ljeta. Tako bi se osigurali optimalni uvjeti za postojanje močvare i postupno revitaliziranje tresetišta, uz primjenu i drugih neophodnih mjera sanacije. Izgradnja sustava ustava kojima bi se podigla razina vode u močvari i zadržale statičke rezerve, u dogledno vrijeme bi omogućila revitaliziranje ukupne biološke raznolikosti, ali bi istovremeno značajno smanjila sadašnje aktivnosti na eksploatiranju treseta.

Ovaj prijedlog je zasigurno najjednostavnije i najučinkovitije rješenje, jer je njime moguće u potpunosti rekonstruirati prirodne uvjete u močvari i tresetištu, odnosno održati dubinu i količinu vode na razini koja je vladala prije 1926. godine. U tom smislu, uz sve ostale mjere, ovo rješenje omogućava optimalne uvjete za zaštitu biološke raznolikosti.

Nedostaci ovoga prijedloga su slijedeći: (i) režim poplava na širem prostoru Ždralovci i Kazanci neće se poremetiti, (ii) značajno će se umanjiti gospodarska dobrobit od eksploatiranja treseta, (iii) količina vode koja dotječe do ponorne zone Kazanci neće se gospodarski koristiti, osim količina koje budu prelijevale prema Čaprazlijama u ekstremno velikim povodnjima.

3.2 Akumuliranje valova velikih voda i višenamjenska uporaba akumuliranih voda

Koncept II faze projekta HE Orlovac podrazumijevao je uporabu voda iz sjeverozapadnog dijela polja, uz prethodno njihovo akumuliranje u dvije retencije-akumulacije. U prvom redu, bila je planirana izgradnja retencije Brežine, sa površinom od oko 9 km^2 i retencije Čaprazlije, sa površinom od oko 30 km^2, koje bi odgovarajućim kanalima bile povezane sa već izgrađenim objektima I faze HE Orlovac. Te bi se prikupljene vode iz sjeverozapadnog dijela polja koristile za proizvodnju električne energije, ali i za navodnjavanje polja tijekom sušnog perioda. U vrijeme kada je koncipiran ovaj projekat, odnos prema močvari i tresetištu bio je znatno drugačiji i postojali su planovi za njihovim postupnim isušivanjem, uz eksploatiranje treseta i privođenje poljodjelstvu većeg dijela područja Ždralovca.

Ovaj prijedlog ima sljedeće prednosti: (i) na širem području Ždralovca i Čaprazlija riješit će se problem poplava, (ii) osigurat će se prosječna količina od preko 4 m^3/s za višenamjensku uporabu, navodnjavanje i energetiku, te za interveniranje na prostoru močvare tijekom pojave suša (iii) eksploatiranje treseta može se zadržati na sadašnjoj razini, (iv) ostvaruje se određena gospodarska dobit.

Nedostaci ovoga prijedloga su: (i) tijekom realiziranja planiranih objekata, akumulacija i sabirnih kanala, neizostavno je fizičko interveniranje u prostoru, što može imati određenog utjecaja i na tresetište i močvaru, (ii) omogućava se i dalje intenzivno eksploatiranje tre-

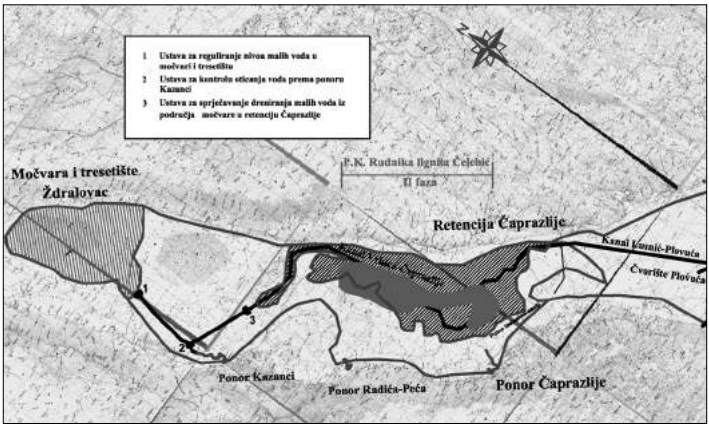
seta, (iii) ovakav način zahtijeva značajan antropogeni utjecaj na prostor močvare i njenu biološku raznolikost tijekom izgradnje potrebne infrastrukture, (iv) prostor na kojima se formiraju akumulacije trajno je izgubljen za bilo kakav drugi vid uporabe.

3.3 Kombinacija dva prethodna prijedloga uz prevođenje voda iz predponorne zone Kazanci prema retenciji Čaprazlije

Iz svega prethodno navedenog može se dati i treći prijedlog, koji bi predstavljao kombinaciju prethodna dva, uz uporabu prednosti i eliminiranje nedostataka iz gore provedene analize. U tom smislu, čini se da bi najbolje rješenje zaštite biološke raznolikosti, uz ostvarivanje gospodarske dobiti, bila izgradnja sustava ustava (slika 4), čime bi se mogla održavati razina vode u močvari, najsličnija onoj koja je tu vladala prije bilo kakvih ljudskih intervencija. Uz to je predviđeno kontrolirano prevođenje vode iz sliva ponora Kazanci prema retenciji Čaprazlije, koju bi po ovom prijedlogu trebalo također napraviti, u cilju akumuliranja vode i njenog daljeg višenamjenskog korištenja.

Tijekom realizacije ovoga prijedloga izvršile bi se određene intervencije na Kazanačkom kanalu, u smislu njegovoga dislociranja u pravcu Bajmunti, ka vodotoku Jaruge. Ovaj kanal bi u tom slučaju odvodio samo velike vode iz područja Ždralovac prema retenciji Čaprazlije. Time bi se umanjio preveliki dotok voda u ponor Kazanci i spriječile poplave toga prostora. Sustavom ustava kontrolirale bi se količine velikih voda koje se propuštaju kanalom prema retenciji Čaprazlije.

Istovremeno, sadašnjim kanalom, koji vodi prema ponoru Kazanci, kontrolirano bi se mogla ispuštati odgovarajuća količina voda kako bi se održala njihova bilanca na izvorima u slivu Cetine, na teritoriji Republike Hrvatske. Na ovaj način zaštitila bi se biološka raznolikost na području Ždralovci, osigurala određena količina vode u retenciji Čaprazlije za višenamjensku uporabu i spriječilo plavljenje ovoga dijela Livanjskog polja. Ovaj koncept osigurao bi i značajnu gospodarsku dobit, a istovremeno bi se učinkovito zaštitila i biološka raznolikost. Pored toga, izvjesna dobrobit ostvarila bi se i od turizma, koji bi se razvijao na području zaštićenog područja, kao i na vodenoj površini retencije Čaprazlije.



Slika 4. Prijedlog integralnog upravljanja vodnim resursima u cilju zaštite močvare i tresetišta u Livanjskom polju

ZAKLJUČAK

Gospodarenje vodama na području Livanjskog polja danas se temelji na sustavu realiziranom u okviru I faze hidroelektrane Orlovac, koji je planiran kao višenamjenski, ali je glavna namjena proizvodnja električne energije na HE Orlovac.

S obzirom na uključenje Livanjskog polja na Ramsarsku listu močvara od međunarodnog značaja, potrebno je izvršiti revitalizaciju močvare i tresetišta, za što je osnovni preduvjet uspostava hidrološkog režima kojim će se osigurati razine vode u močvari slične razinama u prirodnom stanju. Na prostoru sjeverozapadnog dijela polja potrebno je osigurati takav režim voda koji bi, što je moguće više, održavao prirodne uvjete u malim vodama, a da se velike vode evakuiraju iz šireg prostora močvare.

Korištenje velikih voda koje se preliju iz močvare treba organizirati tako da se ne proizvode nikakvi povratni negativni utjecaji na samu močvaru i tresetište, a da se valovi velikih voda akumuliraju i koriste za energetiku i navodnjavanje. Ovo podrazumijeva njihovo prihvaćanje nizvodno od tresetišta i evakuaciju prema retenziji Čaprazlije. Ključan uvjet koji treba postaviti za ovakvo rješenje je da se izgrađenim kanalom od ustave 2 do ustave 3 (slika 4) mogu evakuirati samo velike vode, dok se u malim vodama taj dio kanala u potpunosti zatvara i tako sprječava prinudna odvodnja okolnog prostora i ponovno snižavanje razine vode u močvari.

Izgradnja sustava ustava i prekid eksploatiranja treseta omogućit će dugoročnu ponovnu obnovu trske, a time i proces revitalizacije močvare u cjelini.

LITERATURA

[1] Elektroprojekt (2006): *Hidrološka studija sliva Gornje Cetine*. Elektroprojekt d.d. Zagreb, Energa Sarajevo, Federalni meteorološki zavod Sarajevo.

[2] IHGF (2010): *Integriranje smjernica za zaštitu kraških tresetišta u ključne ekonomske sektore; Upravljanje vodnim resursima, eksploatacija treseta i rehabilitacija tresetišta; Izvještaji II, III, IV, V i VI.* Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta, Sarajevo.

[3] Komatina, M. (1975): *Hidrogeološke odlike slivova centralno-dinarskog karsta*. Geozavod, Beograd.

[4] Vlahinić, M. (1969): *Vodno-fizičke osobine tresetišta Livanjskog polja*. Radovi Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.

[5] ZZVS (1981): *Nastavak izgradnje sistema HE „Orlovac", Informacija*. RO Vodoprivreda BiH, OOUR za istraživanje, studije i projektovanje Zavod za vodoprivredu, Sarajevo.

[6] ZZVS, ZZVM (2002): *Procjene sadašnjeg stanja nivoa zaštite od poplava u FBiH i izrada programa poboljšanja, Knjiga C/XXIV – Livanjsko polje šire područje Čaprazlija i Kazanci.* Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Zavod za vodoprivredu Mostar.

AUTORI

dr. Admir Ćerić [a]
mr. Nijaz Lukovac [b]
Nijaz Zerem [c]

[a] Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, tel./fax. +387-33-212-466, e-mail: admir.ceric@heis.com.ba

[b] Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, tel./fax. +387-33-212-466, e-mail: nijaz.lukovac@heis.com.ba

[c] Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, tel./fax. +387-33-212-466

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.12.

PET GODINA REALIZACIJE NACIONALNOG PROJEKTA NAVODNJAVANJA I GOSPODARENJA POLJOPRIVREDNIM ZEMLJIŠTEM I VODAMA

Danko Holjević, Anita Brajković, Marinko Galiot, Josip Marušić, Berislav Glavaš

SAŽETAK: U srpnju 2005. godine izrađen je Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Hrvatskoj, koji je koncem studenog iste godine i usvojila Vlada Republike Hrvatske. Realizacija samog projekta započela je izradom i usvajanjem županijskih planova navodnjavanja, sanacijom postojećih sustava navodnjavanja, izradom tehničke dokumentacije za nove sustave navodnjavanja, te pripremom za gradnju novih sustava navodnjavanja. U radu je dan kratki pregled ostvarenih rezultata u proteklom petogodišnjem periodu realizacije NAPNAV-a. Analizirana je planirana i ostvarena dinamika realizacije ovog projekta od državnog interesa. Dano je viđenje mogućnosti budućeg razvoja i unapređenje projekta u kontekstu do sada ostvarenih ciljeva i aktualnog trenutka globalne gospodarske krize.

KLJUČNE RIJEČI: NAPNAV, realizacija projekta, dinamika realizacije, ostvareni ciljevi projekta, razvoj i unaprijeđenje projekta

FIVE YEARS OF IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL PROJECT OF IRRIGATION AND LAND AND WATER MANAGEMENT

SUMMARY: The National Project of Irrigation and Land and Water Management in the Republic of Croatia (NAPNAV) was developed in July 2005 and adopted at the end of November 2005 by the Government of the Republic of Croatia. Implementation of the project started with the development and adoption of county irrigation plans, rehabilitation of existing irrigation systems, development of technical documentation for new irrigation systems and preparation for construction of new irrigation systems. The paper gives a brief overview of the achieved results in the past five-year period of the NAPNAV implementation and presents an analysis of the planned and achieved implementation dynamics for this project of national interest. It also offers a view of the future development and improvement of the project in the context of to-date achieved goals and current global economic crisis.

KEY WORDS: NAPNAV, project implementation, implementation dynamics, achieved project goals, development and improvement of the project

1. UVOD

Globane klimatske promjene značajno utječu na cjelokupno vodno gospodarstvo pa na taj način i potrebu za hidrotehničkim melioracijama. Strategija razvoja navodnjavanja kao dijela hidrotehničkih melioracija, određena je Nacionalnim planom navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV). Isti predstavlja jedan od ključnih planskih i provedbenih dokumenata unutar hidrotehničkih melioracija, a dinamika njegove realizacije svakako ima značajnu ulogu u sustavnom razvoju hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj. Navodnjavanje i zaštita poljoprivredenih površina od štetnog djelovanja voda od presudne je važnosti u razvoju, stabilnosti i gospodarskoj isplativosti svake cjelovite poljoprivredene proizvodnje. Sve češća pojava ekstrema u okviru godišnjeg vremenskog ciklusa (intezivne poplave koje se izmjenjuju sa dugim sušnim periodima) potvrđuje sve veći utjecaj globalnih klimatskih promjena na području Hrvatske. Kao direktna poljedica takvih promjena javljaju se veliki gubici u okviru poljoprivredne proizvodnje, odnosno nesigurnost i nestabilnost proizvodnje važnih poljoprivrednih proizvoda (dio ratarske proizvodnje, povrćarstvo, trajni nasadi), kao i ukupna nekonkurentnost poljoprivredne proizvodnje u Hrvatskoj u uvjetima takve proizvodnje. U prethodno navedenoj činjenici leži razlog za izradu NAPNAV-a, a iskustva u periodu od sada gotovo petogodišnje implementacije i realizacije ovog strateškog dukumenta može značajno doprinjeti budućem daljnjem razvoju navodnjavanja, kao i boljem sagledavanju uloge hidrotehničkih melioracija unutar vodnog gospodarstva. U samom početku „novog“ pristupa razvoju navodnjavanja u Hrvatskoj, izradom i prihvaćanjem NAPNAV-a od strane Vlade republike Hrvatske (studeni, 2005. godine), zacrtani su dugoročni i kratkoročni ciljevi i rokovi realizacije. U periodu od petnaest godina predviđeno je povećanje poljoprivrednih površina pod navodnjavanjem za cca. 55.000 ha, odnosno sa 10.000 ha (procjena prema popisu iz 2003 godine) na 65.000 ha površina pod navodnjavanjem u 2020. godini. Za realizaciju ovako ambicioznih ciljeva određen je koordinirani multiaktivni pristup, te se slijedom istog paraleno pristupilo izradi planskih dokumenata regionalnog nivoa (županijski planovi navodnjavanja), uspostavi nacionalnih pilot projekata, izradi tehničke dokumentacije za nove sustave navodnjavanja, te sanaciji postojećih i izgradnji novih sustava navodnjavanja. U svrhu provedbe NAPNAV-a, u Hrvatskim vodama je uspostavljena implementacijska jedinica, a u resornom Ministarstvu regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva odgovarajući sektor i odjel. Potrebna financijska sredstva osigurana su u skladu sa usvojenim kriterijima (NAPNAV), u većem dijelu iz državnog proračuna, uz participaciju županija i krajnih korisnika, a za potrebu kordinacije na državnom nivou resorni je ministar imenovao stručni tim kojeg čine eminentni stručnjaci za ovo područje iz Hrvatske. Obim realiziranih projekata, odnosno utrošenih financijskih sredstava, dan je u narednom poglavlju ovog rada.

2. REALIZACIJA NAPNAV-a U PERIODU 2005-2010 GODINA

S obzirom na izraženu različitost pojedinh regija unutar Hrvatske (karakeristike i veličina poljoprivrednih površina, obim i dostupnost vode za navodnjavanje, kulture i način poljoprivredne proizvodnje,...) prišlo se izradi županijskih planova navodnjavanja. Sadržaj, način izrade i procedura usvajanja ovog dokumeta definirani su projektnim zadatkom (izrađenim od strane županijskih radnih grupa za navodnjavanje), kao i zaključcima

stručnog tima. Županijski plan navodnjavanja definira: prirodne resurse, postojeće stanje, prioritetna područja, definira ciljeve i potrebna sredstava za razvoj navodnjavnja, odnosno daje okvirne veličine obuhvata kao i moguće učinke izgradnje (sociološke, ekonomske i ekološke) novih sustava navodnjvanja. Planove su izrađivale eminentne projektantske kuće i/ili fakulteti, te su, nakon stručne aktivne/pasivne recenzije, javno prezentirani i usvajani na Županijskim poglavarstvima i skupštinama. U razdoblju od 2004. – 2010. u potpunosti je izrađeno 19, od ukupno 21 županijskih planova navodnjavanja (slika 1.).

Temeljem do sada izrađenih planova navodnjavanja, od ukupno cca 2.500.000 ha poljoprivrednog zemljišta u RH u I. prioritet pogodnosti tla za navodnjavanje pripada cca 1.000.000 ha. Uz prosječnu potrebu poljoprivrednih kultura za vodom od 2000 m^3/ha/god dolazi se do podatka ukupne godišnje količine vode za potrebe navodnjavanje od cca 2 x 10^6 m^3/god. Za osiguranje potrebnih količina vode kroz usvojene planove, a poštujući postojeći prostorni raspored i ograničenja održivog razvoja vodnih resursa u RH, određene

Slika 1. Županije u kojima su izrađeni planovi navodnjvanja i popis važnijih projekata navodnjavanja u periodu 2005.-2010. godina

su sljedeće mogućnosti:

- korištenje velikih vodotoka – Dunav, Drava, Mura, Sava, Neretva,...,
- korištenje postojećih i budućih višenamjenskih objekata za akumuliranje vode,
- ponovno korištenje pročišćenih otpadnih voda od kućanstava,
- ponovno korištenjem vode za navodnjavanje iz odvodnih kanala,
- korištenje podzemnih voda na lokacijama gdje ne postoje drugi načini osiguranja i gdje se ne zadire u bilance voda crpilišta za potrebe vodoopskrbe.

Za potrebu izrade županijskih planova navodnjavanja ukupno je utrošeno 13,93 milijuna kuna.

Sljedeći uobičajenu i raširenu praksu kod realizacije značajnih i strateški važnih gospodarskih projekta, NAPNAV-om je predviđena uspostava nacionalnih pilot projekata, koji su temeljem zaključaka stručnog tima određeni na dvije lokacije u kontinentalnom i dvije lokacije u obalnom dijelu Hrvatske. Ovim projektima obuhvaćeno je 8.481 ha poljoprivrednog zemljišta sa ciljem određivanja uvjeta za uspješnu izgradnju sustava navodnjavanja (opravdanost ulaganja, podloga za zakonske propise, edukacija krajnjih korisnika, ekološki učinci, tehnika i tehnologija uzgoja u uvjetima navodnjavanja…).

Na kontinentalnom području Hrvatske za pilot projekte odabrani su: sustav navodnjavnja i akumulacija Opatovac te sustav navodnjavnja i dovodni melioracijski kanal Bid-Bosutsko polje. PPN Opatovac (Slika 2.) smješten je na samom krajnjem istoku RH (Vukovarsko - srijemska županija). Krajnji korisnici na području pilot projekta su većinom poslovni subjekti (Vupik d.d. Vukovar, Agro-Tovarnik d.o.o. Tovarnik, Agro-Lovas d.o.o. Lovas) i poljoprivredne zadruge (PZ Lovas, PZ Nova Zadruga). Projekt obuhvaća višenamjensku akumulaciju korisnog volumena 904 350 m^3 na potoku Čopinac (Mlinski potok) iz koje će se zahvaćati voda za navodnjavanje 705 ha kvalitetnog poljoprivrednog zemljišta putem crpne stanice instaliranog kapaciteta 320 l/s i pripadajućeg tlačnog distribucijskog cjevovoda ukupne duljine 16 387 m. Akumulacija je izgrađena u potpunosti tijekom 2006./2007. godine, a sam sustav distribucije pri samom je kraju izgradnje. Za projektiranje i izgradnju cjelovitog sustava do sada je 42,88 milijuna kuna.

Sustav navodnjavanja i dovodni melioracijski kanal Bid – bosutsko polje u okviru pilot projekta navodnjavanja Bid-bosutsko polje nalazi se u istočnoj Hrvatskoj (Brodsko - posavska i Vukovarsko - srijemska županija). Obuhvaća izgradnju melioracijskog kanala

Slika 2. Crpna stanica i akumulacija pilot projekta navodnjavanja Opatovac

od rijeke Save (st. 312+150) do kanala Konjsko, ukupne duljine od 14 772 m i prosječne širine pojasa zahvata 120 m, iz kojeg će se neposredno zahvaćati voda za sustav navodnjavanja u veličini od 4057 ha u I. fazi. Osim direktnog izvora vode za navodnjavanje pilot projekta, kanal ima i ulogu dohranjivanja dominantnih vodotoka Bosut i Bić (preko kanala Konjsko i vodotoka Istočna Berava) te manjih prirodnih i/ili umjetnih vodotoka Kanal (Slika 3.) je predviđen za izgradnju II. etape tj. šest faza. Glavni hidrotehnički objekti na trasi su: propust na AC Zagreb – Lipovac, propust na ŽP Vrpolje – Slavonski Šamac te ustava i crpna stanica (početni kapacitet je 2,5 m^3/s, a konačni 10 m^3/s). Tijekom 2010 godine dovršena je I. faza izgradnje kanala u duljini od 6 122 m te je za 2011 planiran nastavak izgradnje tj. II faza. Zaključno sa 2010. godinom, a uključujući projektiranje, rješavanje pravno imovinskih odnosa, pripremne radove, istražne arheološke radove i troškove izgradnje I faze utrošeno je 199,71 milijun kuna.

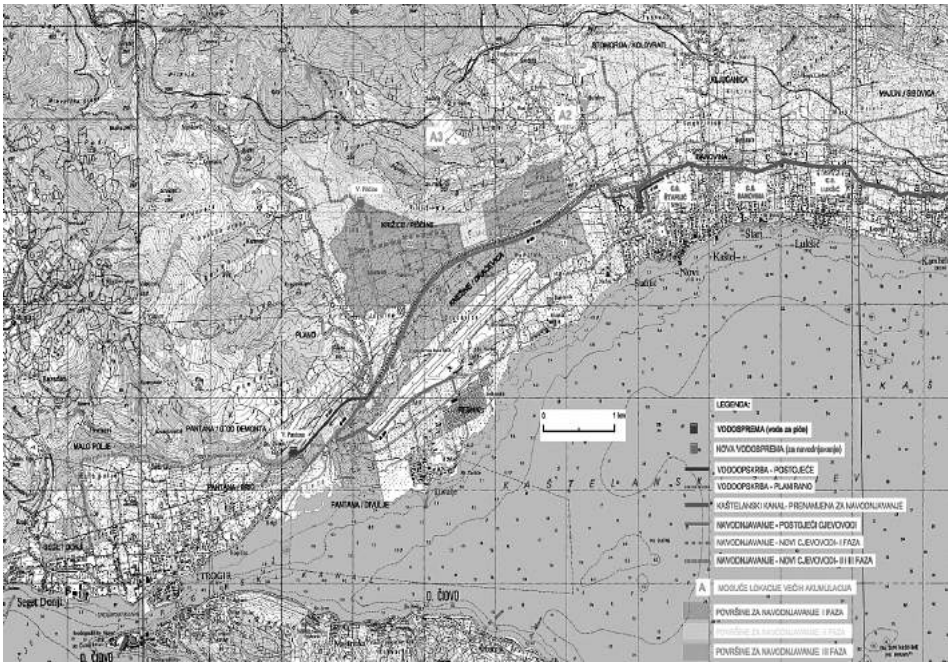
Sustav navodnjavanja na 4057 ha odnosi se na poljoprivredne površine smještene obostrano u pojasu melioracijskog kanala. Krajnji korisnici na području su većinski obiteljska poljoprivredna gospodarstva. Zbog ograničenja raspoložive vode, predviđena je sukcesivna izgradnja u sedam faza. Svaka faza obuhvaća u prosjeku 580 ha s tim da su faze prioritetno posložene ovisno o blizini kanala, rješenoj melioracijskoj odvodnji i okrupnjenosti poljoprivrednih površina.

S obzirom na veličinu i utjecaj objekata pilot projekta navodnjavanja na šire područje sustavno se provodi monitoring poljoprivrednih tala i vodnog režima te je izrađena studija vodne bilance Bić-bosutskog polja.

Slika 3. Dovodni melioracijski kanal za navodnjavanje Bić-bosutskog polja

Pilot projekt navodnjavanja Kaštela – Trogir – Seget (Slika 4.) nalazi se na području srednje Dalmacije (Splitsko – dalmatinska županija), za koju je karakteristična intenzivna poljoprivredna proizvodnja povrća, voća, maslina i cvijeća. Postojeća poljoprivredna proizvodnja odvija se na 374 ha, te se za potrebe navodnjavanja koristi voda iz vodoopskrbnog sustava. Za potrebe razvoja poljoprivredne proizvodnje na 896 ha predviđeno je neovisno korištenje viškova vode izvora rijeke Jadro, uz uvjet zahvaćanja alternativnih izvora vode (akumulacije i podzemne vode područja Plano). Realizacija ovog projekta predviđena je u fazama, a u prvoj je fazi (265 ha) predviđeno korištenje postojećih kapaciteta i hidrotehničkih objekata (izvor Jadra, Kaštelanski kanal duljine cca 15,5 km i tlačni cjevovod DN 400 Kaštel Štafilić - Plano) koji se ili ne koriste ili su EKO projektom isključeni iz vodoopskrbnog sustava, uz izgradnju potrebnih novih objekata (KS Kunčeva Greda, CS Štafilić 1, CS Banovina – Kaštel Stari, VS Pišćine i pripadajući tlačni distri-

bucijski sustavi – primarna i sekunadrna mreža). Do sada je, zbog problema djelomične integriranosti dvaju sustava (postojeći vodoopskrbni i novi sustav navodnjvanja) izrađena samo djelomična tehnička dokumentacija, za što je utrošeno 2,58 milijuna kuna.



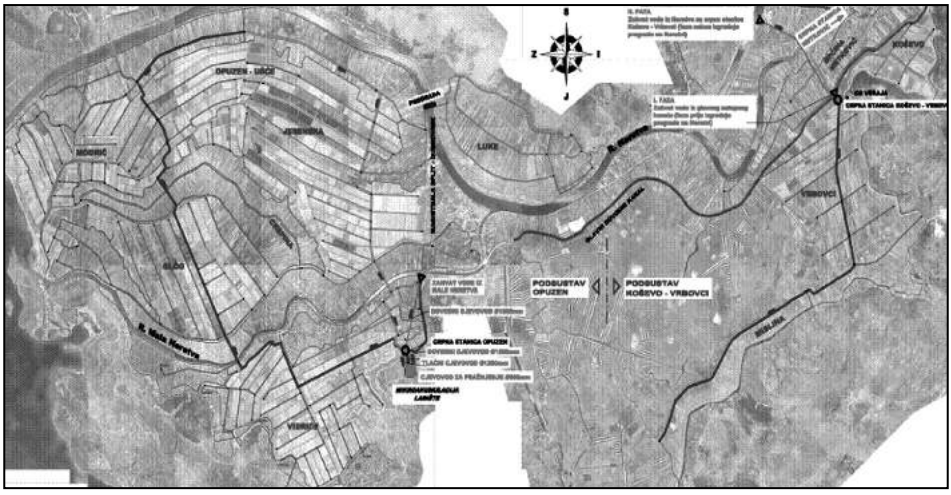
Slika 4. Shema sustava navodnjavaja Kaštela – Trogir – Seget

Sustav navodnjavanja Donje Neretve (Slika 5.) nalazi se unutar doline donjeg toka rijeke Neretve u RH (Donja Neretva) i predstavlja vrlo kompleksan sustav, prvenstveno u smislu ograničenja koja se u tom prostoru nameću sa aspekta ekologije i zaštite okoliša (jedan od poslijednjih riječnih delta u Sredozemlju i najveća mediteranska močvara u RH), ali i obrane od poplava i kontinuiranog procesa zaslanjivanja tla. U dolini Neretve smanjen je dotok vode u ljetnim mjesecima što je dovelo do pojačanog prodora mora u duboke slojeve aluvija i u samo korito rijeke. Kroz dugo razdoblje pokušaja melioracije (odvodnje i navodnjavanja) i uređenja poljoprivrednih površina izrađeno je nebrojeno hidrotehničkih projekata te znanstveno istraživačkih studija s osnovnom tematikom sprečavanja zaslanjivanja tla i voda. Većina predloženih rješenja ili nije realizirana ili je realizirana djelomično (čime nije zaokružena funkcionalna cjelina) s time da se uslijed neredovitog održavanja postojećih objekata stanje u poslijednjih osamnaest godina vidno pogoršalo.

Pilot projektom navodnjavanja obuhvaćena je ukupna površina od 4 492 ha, od čega je 2 824 ha bivša društvena obradiva površina svrstana u agronomsku I. melioracijsku jedinicu koja predstavlja prioritet za navodnjavanje, a 1668 ha su privatne površine. Projekt je podijeljen u dva funkcionalno odvojena podsustava – podsustav Koševo – Vrbovci na 812 ha (zahvat-crpna stanica 1033 l/s – tlačna distribucijska mreža 24 459 m) i podsustav Opuzen na 3680 ha (mobilna pregrada na rijeci Neretvi - crpna stanica 2400 l/s, mik-

roakumulacija 90 000 m3 i tlačna distribucijska mreža 131 225 m). Za definirani obuhvat pilot projekta potrebno je nužno osigurati cca 4.6 m^3/s nezaslanjene vode za što je jedini mogući izvor rijeka Neretva i to mobilnom pregradom koja će biti aktivna tijekom ljetnih mjeseci čime će se omogućiti ublažavanje zaslanjivanja cijele doline. Za ovaj projekt izrađeni su idejni projekti i studije o utjecaju na okoliš za potrebe ishođenja lokacijskih dozvola tijekom 2011. godine. U izradu tehničke dokumentacije i studije uloženo je 8,75 milijuna kuna.

Za poznate lokacije intenzivne poljoprivredne proizvodnje i zainteresirane krajnje korisnike, u skladu s planovima navodnjavanja županija, pokrenuta je izrada projektne dokumentacije, odnosno pokrenut postupak ishodovanja potrebnih dozvola za izgradnju. U razdoblju 2005. - 2010., izrađena je ili je u izradi projektna dokumentacija različite razine (tehnička i studijska dokumentacija) za 64 javna sustava navodnjavanja koji ukupno obuhvaćaju cca 57 000 ha poljoprivrednih površina.



Slika 5. Shema pilot projekta navodnjavanja Donja Neretva

Za poznate lokacije intenzivne poljoprivredne proizvodnje i zainteresirane krajnje korisnike, u skladu s planovima navodnjavanja županija, pokrenuta je izrada projektne dokumentacije, odnosno pokrenut postupak ishodovanja potrebnih dozvola za izgradnju. U razdoblju 2005. - 2010., izrađena je ili je u izradi projektna dokumentacija različite razine (tehnička i studijska dokumentacija) za 64 javna sustava navodnjavanja koji ukupno obuhvaćaju cca 57 000 ha poljoprivrednih površina.

Idejni projekti se sastoje od agronomske, hidrotehničke i ekonomske analize s prijedlogom načina održavanja i upravljanja sustavom te osvrtom na utjecaj planiranog zahvata na okoliš i prirodu. Glavni i izvedbeni projekti su isključivo hidotehničke prirode u skladu s Zakonom o prostornom uređenju i gradnji. U proteklih pet godina u izradu projektne dokumentacije uloženo je ukupno 58,58 milijuna kuna.

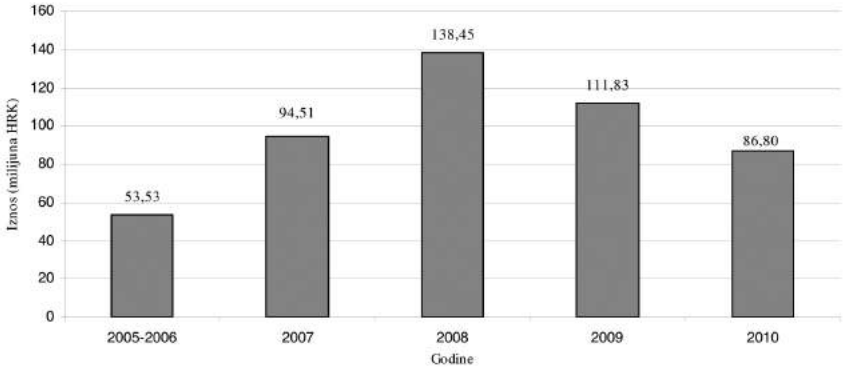
Paralelno sa ostalim aktivnostima planiranim unutar NAPNAV-a, započelo se i sa sanacijom postojećih sustava navodnjavanja koji su zbog stagnacije ove djelatnosti u posljednjih dadesetak godina uništena ili zapuštena. Do 2010. godine, u potpunosti su sanirana i

puštena u funkciju tri sustava: SN Vrana u Zadarskoj županiji na 530 ha, SN Grabovo na 677 ha i SN Borinci na 700 ha u Vukovarsko - srijemskoj županiji. Isto tako, izvršena je djelomična sanacija na SN Valtura u Istarskoj županiji te SN Sinjsko polje, SN Imotsko polje i SN Rastok u Splitsko dalmatinskoj županiji u ukupnom obuhvatu od 2 180 ha. Osim navedenog, također se vršila i sanacija postojećih hidotehničkih objekata u okviru priprema za buduće sustave navodnjavanja npr. sanacija akumulacije Bistra za SN Kaptol, crpne stanice Puškaš, retencije za SN Koljak,... U ovu je aktivnost ukupno uloženo 50,65 milijuna kuna.

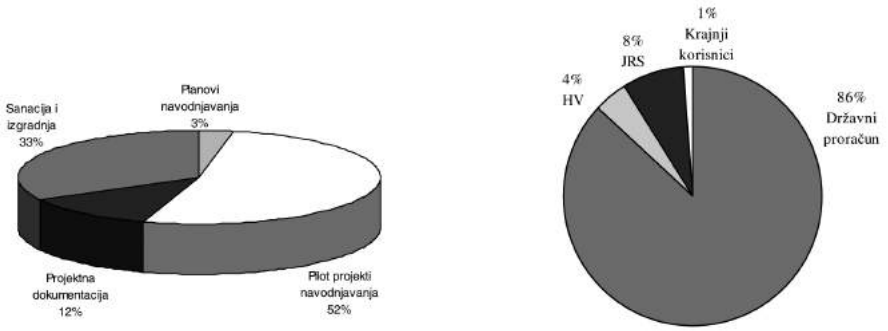
Kao preduvjet za navodnjavanje, izgardile su se i neke višenamjenske akumulacije npr. Lipovac, Londža I etapa,...u što je utrošeno 23,34 milijuna kuna. Dovršetkom procesa izrade tehničke dokumentacije, te ishođenjem potrebnih dozvola, započeo je i proces gradnje novih sustava navodnjavanja. Na taj način tijekom 2010. godine dovršen je sustav navodnjavanja **Gat** (Osječko – baranjska županija) u obuhvatu od 500 ha s vodozahvatom iz podzemlja i rijeke Drave. Ukupna vrijednost izgradnje je 37,25 milijuna kuna.

U Međimurskoj županiji dovršen je sustav navodnjavanja **Međimurje** (250 ha s zahvatom iz akumulacijskog jezera Čakovec), a u Zadarskoj županiji sustav **Baštica - I faza** (350 ha s zahvatom iz akumulacije Vlačine). Visina uloženih sredstva za izgradnju iznosi za Međimurje 27,11 milijuna kuna, a za Bašticu. 20,34 milijuna kuna.

U periodu od proteklih pet godina u okviru realizacije NAPNAV-a obuhvaćeno je na različite načine 70.000 ha poljoprivrednog zemljišta, a ukupno je uloženo 485,12 milijuna kuna. Na grafikonu 1. dan je prikaz ukupnih ulaganja po godinama u proteklom periodu. Sredstva su uložena za aktivnosti definirane NAPNAV-om (planovi, piloti, projektiranje, sanacija i izgradnja), a njihov postotak zastupljenosti kao i izvor finciranja dan je grafikonom 2.



Grafikon 1. Prikaz ulaganja u razvoj navodnjavanja po godinama



Grafikon 2. Ulaganja u razvoj navodnjavanja prema aktivnostima i izvorima financiranja

ZAKLJUČAK

Analizirajući planiranu i ostvarenu dinamiku realizacije NAPNAV-a u proteklih pet godina možemo zaključiti da su u odnosu na planirani konačni cilj (65.000 ha u 2020. godini) ostvareni značajni iskoraci, odnosno da je kroz sve vidove aktivnosti unutar NAPNAV-a obuhvaćeno više od 70.000 ha poljoprivrednog zemljišta. Planski gledano gotovo je cijela Hrvatska pokrivena županijskim planovima navodnjavanja (nedostaju samo dvije županije, koje odbijaju izradu), a izrađen je i značajan dio potrebne tehničke dokumentacije. Sanirani su postojeći sustavi navodnjavanja, te je pri kraju izgradnja prvog pilot projekta, kao i potpuno novih sustava od kojih su neki već stavljeni u funkciju tijekom prošlogodišnje sezone navodnjavanja. Izrađene je i donesena potrebna podzakonska regulativa, odnosno stvoreni su uvjeti za direktno sufinciranje manjih privatnih sustava navodnjavanja. U sklopu pregovora sa Svjetskom bankom, izrađene su cost-benefit studije za veći broj sustava, te je potvrđena relativno velika isplativost njihove izgradnje. Velika gospodarska kriza u svijetu i Hrvatskoj ipak je značajno utjecala na dostupnost potrebnih sredstava, što je osobito u zadnje dvije godine usporilo, ali ne i zaustavilo realizaciju zacrtanih programa i planova što je imalo i neke pozitivne učinke npr. kristalizacija prioriteta. Značajne aktivnosti poduzete su i na uspostavi katastra navodnjavanja, osobito vezano za povezivanje novog sustava za dodjelu poticaja u poljoprivredi (ARCOD) i baze Hrvatskih voda, kao i u pripremi i ekipiranju implementacijske jedinice unutar Hrvaskih voda za buduće projekte u okviru procesa pristupanja Hrvatske Europskoj uniji (projekt bilateralne suradnje sa Nizozemskom vladom). U proteklom periodu uočeni su i određni problemi-nedostaci subjektivne i objektivne prirode. Kod toga prvenstveno treba istaknuti „institucionalni okvir“ navodnjavanja unutra vodnog gospodarstva u cijelosti, pitanje suradnje sa krajnjim korisnicima, Ministarstvom ruralnog razvoja, poljoprivrede i ribarstva, te na koncu i županijama (vlasnicima sustava javnog navodnjavanja). Ipak mišljenja smo, temeljem iskustava na realizaciji NAPNAV-a, u proteklih pet godina nezaustavljivo pokrenut proces implementacije navodnjavanja, kao dijela potrebnih hidrotehničkih melioracija, unutar Hrvatske poljoprivrede, a što nam ulijeva nadu i optimizam glede dostizanja postavljenog konačnog cilja - 65.000 ha navodnjavanih površina do 2020. godine.

LITERATURA

[1] Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2005): *Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama,* Zagreb.

[2] Hrvatske vode (2009): *Strategija upravljanja vodama,* Zagreb.

[3] Holjević, D., Brajković, A. (2009):*,"Provedba nacionalnog projekta navodnjavanja u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2004. - 2008 . godine",* Zbornik radova sa okruglog stola "Aktualni trenutak odvodnje i navodnjavanja u Hrvatskoj", Zadar, str.1-17.

[3] Romić, D., Marušić, J. (2008):*"Water in Agriculture- natural distribution, requiremets, management and water protection"*, Annual 2008 of the Croatian Academy of engineering, Zagreb, str.49-75.

[4] Holjević, D., Marušić, J., Kos, E. (2008): *„County Irrigation Plans",* Annual 2008 of the Croatian Academy of engineering, Zagreb, str.87-101.

AUTORI

Dr. sc. Danko Holjević, dipl. ing. građ. [1]
Anita Brajković, mag. ing. aedif. [2]
Marinko Galiot dipl. ing. građ. [3]
prof. dr. Josip Marušić dipl. ing. građ. [4]
Berislav Glavaš dipl. ing. kult. teh. [5]

[1] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; dholjev@voda.hr

[2] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; banita@voda.hr

[3] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; marinko.galiot@voda.hr

[4] Građevinski fakultet u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska; marusicj@master.grad.hr

[5] Hrvatske vode, VGO – Split, Vukovarska 35, Split, Hrvatska; berislav.glavas@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.13.

HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE U OKVIRU NOVE PODZAKONSKE REGULATIVE

Elizabeta Kos, Ružica Drmić, Danko Holjević, Marinko Galiot, Danko Biondić

SAŽETAK: Tijekom 2010. godine, a temeljem novog Zakona o vodama ("Narodne novine", br. 153/09) izrađen je i donesen čitav niz podzakonskih akata (pravilnika) vezanih za područje hidrotehničkih melioracija. Pravilnicima je regulirano područje melioracijske odvodnje i navodnjavanja u duhu novog Zakona o vodama i to na način da je stvoren okvir za efikasnu i uspješnu organizaciju ovih vodnogospodarskih djelatnosti u okviru cjelokupnog vodnog gospodarstva. U radu je dan sistematski pregled donesenih akata s osvrtom na njihov sadržaj. Posebno su naglašene novine i promjene unutar ove vodnogospodarske djelatnosti, te očekivani učinci usvojenih rješenja i mjera.

KLJUČNE RIJEČI: Zakon o vodama, podzakonski akti (pravilnici), melioracijska odvodnja, navodnjavanje

HYDROTECHNICAL MELIORATION IN FRAMEWORK OF NEW SUBORDINATE REGULATIONS

SUMMARY: During the year 2010, based on the new Water act (O.G no. 153/09) a number of subordinate regulations related to hydrotechnical melioration, was drafted and adopted. These subordinate regulations regulate fields of ameliorative drainage and irrigation according to the new Water act in a way which creates a framework for efficient organization of these water managing activities in the frameworks of the entire water management. This paper presents a systematic review of the adopted subordinate regulations regarding their content. Special emphasis is on innovations and changes within the water management activities and the expected effects of the adopted solutions and measures.

KEY WORDS: Water Act, implementing legislation (regulations), amelioration drainage, irrigation

1. UVOD

Donošenjem novog Zakona o vodama ("Narodne novine", br. 153/09), koji je u potpunosti usuglašen s pravnom stečevinom Europske unije (EU), stvoreni su uvjeti za nesmetano funkcioniranje hrvatskog vodnog gospodarstva u narednom razdoblju, neposredno prije i nakon očekivanog ulaska Hrvatske u Europsku uniju. Novim Zakonom o vodama postignut je kompromis između zadanih regulatornih okvira EU i povijesnih stečevina hrvatskog vodnog gospodarstva (iskustvo od 135 godina organiziranog vodnog gospodarstva, uz postojanje tradicionalnog oblika organizacije upravljanja vodama). Novim Zakonom o vodama predviđeno je donošenje čitavog niza podzakonskih akata, kojima se precizno definiraju i razrađuju pojedine odredbe, odnosno članci samog zakona. Podzakonske akte donosi Vlada ili resorni ministar zadužen za pitanje vodnog gospodarstva (Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstava i vodnoga gospodarstva), a ministar je nadležan je i za definiranje postupka izrade prijedloga svih akata. Odlukom ministra regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva osnovano je povjerenstvo za praćenje izrade podzakonskih akata, odnosno imenovana su povjerenstva za izradu nacrta prijedloga svakog pojedinog podzakonskog akta. U povjerenstva su prvenstveno imenovani stručnjaci resornog ministarstva i Hrvatskih voda, te po potrebi stručnjaci drugih ministarstava i institucija vezanih za vodno gospodarstvo.

U okviru problematike hidrotehničkih melioracija Zakon o vodama predvidio je donošenje tri pravilnika i jednog popisa, te su sukladno tome imenovana i četiri povjerenstva za izradu nacrta, koja su tijekom 2010. godine izradila nacrte akata. Središnje povjerenstvo za praćenje izrade podzakonskih akata prihvatilo je nacrte akata, te ih predložilo nadležnom ministru na donošenje. Svi akti doneseni su tijekom 2010. godine i objavljeni su u Narodnim novinama.

U nastavku rada dan je osvrt na odredbe i sadržaj svakog pojedinog akta iz domene hidrotehničkih melioracija.

2. HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE U OKVIRU NOVE PODZAKONSKE REGULATIVE

Na području hidrotehničkih melioracija tijekom 2010. godine, a u kontekstu novog Zakona o vodama, donesena su tri pravilnika i jedan popis, kako slijedi:

- ravilnik o upravljanju i uređenju sustava za navodnjavanje, ("Narodne novine", br. 83/10),
- Pravilnik o uvjetima i mjerilima za sufinanciranje gradnje građevina za navodnjavanje u vlasništvu fizičkih i pravnih osoba, ("Narodne novine", br. 83/10),,
- Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodoistražnih radova i drugih hidrogeoloških radova, preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava, te upravljanja detaljnim građevinama za melioracijsku odvodnju i vodnim građevinama za navodnjavanje, ("Narodne novine", br. 83/10)
- Popis građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju i mješovitih melioracijskih građevina od interesa za Republiku Hrvatsku, ("Narodne novine", br. 83/10)

Pravilnikom za upravljanje i uređenje sustava za navodnjavanje propisuju se uvjeti za upravljanje, te tehnički i drugi uvjeti uređenja sustava za navodnjavanje u vlasništvu jedinice područne (regionalne) samouprave. Pravilnikom se definiraju i obveze izvješćivanja o stanju i korištenju

sustava, odnosno osnove za utvrđivanje troškova održavanja i način njihove raspodjele na korisnike. Donesena je odredba o izradi programa gradnje sustava javnog navodnjavanja (izrađuje i donosi jedinica područne (regionalne) samouprave) kao temeljenog dokumenta koji prethodi svim aktivnostima vezanim za projektiranje i izgradnju novih sustava navodnjavanja na nekom području. Određuje se obveza međusobne usklađenosti programa gradnje i usvojenog županijskog plana navodnjavanja, odnosno obveza iskazanog interesa 70% krajnjih korisnika budućeg sustava navodnjavanja kao uvjet za početak projektiranja, odnosno definirani ugovorni odnos sa korisnicima barem 30% površina unutar budućeg sustava navodnjavanja za početak gradnje. Definira se pojam i sadržaj programa održavanja javnog sustava navodnjavanja, te obveza donošenja tehničkih uvjeta za uređenje sustava javnog navodnjavanja od strane jedinice područne (regionalne) samouprave. Na taj način omogućen je efikasan izračun godišnjih troškova rada sustava (fiksnih i varijabilnih), a utvrđena je i odredba o načinu i obvezi participiranja krajnjih korisnika sustava u svim prethodno navedenim troškovima. U završnom dijelu Pravilnika određen je način izračuna, naplate i postupak donošenja odluke o naknadi za navodnjavanje (donose jedinice područne (regionalne) samouprave), odnosno potreba i način izvješćivanja nadležnog ministarstva, te Hrvatskih voda.

Pravilnikom o uvjetima i mjerilima za sufinanciranje gradnje građevina za navodnjavanje u vlasništvu fizičkih i pravnih osoba propisuju se uvjeti i mjerila za dodjelu nepovratnih sredstava u svrhu sufinanciranja troškova gradnje građevina u vlasništvu privatnih i fizičkih iz Državnog proračuna. Sufinanciranje se može ostvariti za usluge i radove u tekućoj i dvije prethodne godine, a u slučajevima izrade tehničke dokumentacije, izgradnje vodozahvata, crpnih stanica, distribucijske tlačne mreže i otvorene kanalske mreže, odnosno za potrebe sanacije postojećih građevina. Sredstva mogu koristiti samo fizičke i pravne osobe upisane u Upisnik poljoprivrednih gospodarstava, a koja su obveznici PDV-a. Posebno su definirani troškovi koji se ne mogu sufinancirati (oprema na parceli, kupnja nekretnina, PDV, ...), te maksimalna visina udjela sufinanciranja koja se kreće od 30 do 80% prihvatljivih troškova. Nastavno je opisan postupak dodjele sredstava i način podnošenja zahtjeva za odobrenje sredstava, a za nositelja aktivnosti (natječaj, zaprimanje prijava, evidencija sufinanciranja, ...) određene su Hrvatske vode. Odluku o dodjeli sredstava donosi tročlano povjerenstvo koje imenuje nadležni ministar. Kontrolu nad cjelokupnim postupkom dodjele i korištenje sredstava Državnog proračuna od strane krajnjeg korisnika provodi državna vodopravna inspekcija, dok kontrolu stanja na terenu - mjestu građenja provode Hrvatske vode. Na koncu ovog pravilnika propisan je i postupak povrata sredstava u za to određenim situacijama.

Pravilnikom o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodoistražnih radova i drugih hidrogeoloških radova, preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava, te upravljanja detaljnim građevinama za melioracijsku odvodnju i vodnim građevinama za navodnjavanje definirani su uvjeti nužni za obavljanje poslova upravljanja (održavanja) vodnim građevinama, kako za melioracijsku odvodnju (detaljnu) tako i za navodnjavanje (javno). Ovim pravilnikom posebno su izdvojeni neki uvjeti, od kojih izdvajamo najvažnije: solventnost i registriranost za obavljanje te vrste poslova, broj i struktura zaposlenika, tehnička opremljenost, suglasnost temeljem Pravilnika o uvjetima i mjerilima za davanje suglasnosti za započinjanje obavljanja djelatnosti građenja, i ostali. Nastavno je propisan i postupak utvrđivanja posebnih uvjeta (certifikacijski postupak) kao i precizan popis certifikacijskih područja na kojima se može ostvariti predmetna djelatnost.

Popisom građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju i mješovitih melioracijskih građevina od interesa za Republiku Hrvatsku, dan je popis građevina kojima temeljem Zakona o vodama upravljaju Hrvatske vode. Ovim popisom jasno su odvojene građevine za koje se skrbe Hrvatske vode od onih melioracijskih građevina koje su u nadležnosti jedinica regionalne samouprave (županije). Temeljem Zakona o vodama jedinice regionalne samouprave dužne su za potrebe osiguranja dostatnih financijskih sredstava za održavanje takvih građevina (kanali III. i IV. reda) raspisati odgovarajuću naknadu koju plaćaju vlasnici svih poljoprivrednih tala na njihovom području. U slučaju mješovitih melioracijskih građevina od interesa za Republiku Hrvatsku, uvrštenjem vodne građevine na ovaj popis, a iz razloga složenosti upravljanja i održavanja takvih građevina, kao i činjenice da takvi sustavi traže jedinstveno i cjelovito upravljanje iz jednog mjesta ili od strane jednog tijela, osigurava se prethodno navedeno. Upravo u takvom slučaju, upravljanje i održavanje mješovitih melioracijskih građevina postaje odgovornost Hrvatskih voda, što predstavlja sigurnost efikasnosti i funkcionalnosti melioracijske odvodnje i navodnjavanja u cjelini.

ZAKLJUČAK

Novim Zakonom o vodama**,** hidrotehničke melioracije**,** odvodnja i navodnjavanje, zadržale su i potvrdile status ove djelatnosti unutar hrvatskog vodnog gospodarstva. Podzakonski akti, opisani u prethodnom poglavlju, doneseni su u kratkom roku od samog usvajanja Zakona o vodama (nešto više od pola godine), te je na taj način osigurana uspješna i efikasna implementacija novih zakonskih odredbi kod svih čimbenika koji sudjeluju unutar dijela hrvatskog vodnog gospodarstva koji se odnosi na hidrotehničke melioracije. Neki od pravilnika vezanih za problematiku navodnjavanja prvi su puta napisani, odnosno usvojeni u dugogodišnjoj povijesti hrvatskog vodnog gospodarstva. To se prije svega odnosi na Pravilnik o upravljanju i uređenju sustava za navodnjavanje, ali i na Pravilnik o uvjetima i mjerilima za sufinanciranje gradnje građevina za navodnjavanje u vlasništvu fizičkih i pravnih osoba. Prvim je praktično stvoren „institucionalni okvir“ za upravljanje i efikasnu organizaciju navodnjavanja unutar javnih sustava navodnjavanja, a čime su osigurani uvjeti za bržu i uspješniju implementaciju Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Hrvatskoj (NAPNAV). Odredbe ovog pravilnika potvrđene su i kroz tehničke pregovore koje su hrvatski eksperti vodili sa ekspertima Svjetske banke, a u pripremnoj fazi mogućeg korištenja financijskih sredstava ove institucije za potrebe brže realizacije NAPNAV-a. Donošenjem drugog Pravilnika o uvjetima i mjerilima za sufinanciranje gradnje građevina za navodnjavanje u vlasništvu fizičkih i pravnih osoba, osigurane su temeljne pretpostavke za učinkovitiju i bržu realizaciju manjih sustava navodnjavanja u vlasništvu jedne osobe, a kojima su dosadašnje procedure realizacije projekata navodnjavanja putem županija bile spore i nefleksibilne, odnosno nisu omogućavale (prvenstveno zbog dugih administrativnih postupaka i velikog broja uključenih subjekata) dinamiku realizacije prihvatljivu zahtjevima nove poljoprivredne proizvodnje i privatnih investitora. Trećim je Pravilnikom o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodoistražnih radova i drugih hidrogeoloških radova, preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava, te upravljanja detaljnim građevinama za melioracijsku odvodnju i vodnim građevinama za navodnjavanje, osigurana kompetentnost, tehnička ekipiranost i poslovna pouzdanost tvrtki koje mogu obavljati poslove upravljanja (prije svega održavanja) građevinama za detaljnu melioracijsku odvodnju i navodnjavanje. Na taj način osigurana je pouzdana usluga po naj-

nižim cijenama, a sve sa svrhom uspješnije i konkurentne poljoprivredne proizvodnje unutar postojećih i budućih melioracijskih sustava. Na koncu Popisom građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju i mješovitih melioracijskih građevina od interesa za Republiku Hrvatsku osigurana je stalna i cjelovita skrb ne samo o sustavima osnovne melioracijske odvodnje već i o kompleksnijim mješovitim sustavima melioracijske odvodnje i navodnjavanja, a koja je povjerena Hrvatskim vodama.

Zaključujući analizu hidrotehničkih melioracija u okviru nove podzakonske regulative želimo istaći da je prvi puta izrađen i u kratkom roku donesen cjeloviti paket podzakonskih akata proizašlih iz novog Zakona o vodama, što je omogućilo bržu i učinkovitiju implementaciju Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Hrvatskoj (NAPNAV), a samim time dana je i nova šansa hrvatskoj poljoprivredi, kako za budući brži napredak, tako i za veću konkurentnost, te gospodarsku isplativost unutar hrvatskog gospodarstva.

LITERATURA

[1] Vlada Republike Hrvatske, (2005): *Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama,*

[2] "Narodne novine", br. 91/08, (2008): *Strategija upravljanja vodama,*

[3] "Narodne novine", br. 83/10, (2010): *Pravilnik o upravljanju i uređenju sustava za navodnjavanje*,

[4] "Narodne novine", br. 83/10, (2010): *Pravilnik o uvjetima i mjerilima za sufinanciranje gradnje građevina za navodnjavanje vlasništvu fizičkih i pravnih osoba,*

[5] "Narodne novine", br. 83/10, (2010): *Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodoistražnih radova i drugih hidrogeoloških radova, preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava, te upravljanja detaljnim građevinama za melioracijsku odvodnju i vodnim građevinama za navodnjavanje*,

[6] "Narodne novine", br. 83/10, (2010): *Popis građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju i mješovitih melioracijskih građevina od interesa za Republiku Hrvatsku.*

AUTORI

Elizabeta Kos dipl.ing.agron.[1]
Ružica Drmić dipl.ing.građ. [2]
Dr.sc. Danko Holjević, dipl.ing.građ.[3]
Marinko Galiot dipl.ing.građ.[4.]
Dr.sc. Danko Biondić dipl.ing.građ.[5]

[1] MRRŠVG, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; *elikos@voda.hr*
[2] MRRŠVG, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; *ruzica.drmic@voda.hr*
[3] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; *dholjev@voda.hr*
[4] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; *marinko.galiot@voda.hr*
[5] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska; *dbiondic@voda.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.14.

UTJECAJ PRIRODNIH OBILJEŽJA MELIORACIJSKIH PODRUČJA NA GLAVNE PARAMETRE SUSTAVA POVRŠINSKE ODVODNJE

Josip Marušić, Damir Bekić, Danko Holjević

SAŽETAK: Prirodna obilježja poljoprivrednih površina imaju veliki utjecaj na projektne i izvedbene parametre hidromelioracijskih sustava za odvodnju i navodnjavanje. Zbog ratnog djelovanja neprijatelja i pogoršanog financijskog stanja u poljoprivredi i vodnom gospodarstvu nisu u potpunosti izvršavani poslovi redovitog održavanja melioracijskih kanala i pripadajućih hidrotehničkih građevina od 1991. do 2005. Posljedica toga je sve niži stupanj funkcioniranja sustava površinske odvodnje. Od 2006. godine uslijedile su veće aktivnosti i poslovi na dovođenju hidromelioracijskih sustava na njihovu projektno-izvedbenu razinu. Njihovo dimenzioniranje je provedeno s mjerodavnom oborinom od 40 do 60 mm/dan na 80 posto melioracijskih površina nizinskog područja slivnih površina Drave, Dunava i Save. U 2010. godini na većini hidromelioriranih površina evidentirane su jednodnevne oborine od 50 do 120 mm. Pored pojave prekomjernih oborina dio hidromelioracijskih sustava nije funkcionirao i zbog neizvršenih radova njihovog redovitog održavanja. Posljedica toga je pogoršanje vodnog režima poljoprivrednih zemljišta i na hidromelioriranim površinama te smanjenje prinosa biljnih kultura.

KLJUČNE RIJEČI: mjerodavna oborina, sustavi, parametri, površinska odvodnja, redovito održavanje, funkcioniranje

IMPACT OF NATURAL CHARACTERISTICS OF AMELIORATION AREAS ON THE MAIN PARAMETERS OF SURFACE DRAINAGE SYSTEMS

SUMMARY: Natural characteristics of agricultural surfaces have a significant impact on design and implementation parameters of hydroamelioration systems for drainage and irrigation. Due to war-related damages and worsened financial situation in agriculture and water management, regular maintenance of amelioration canals and hydrotechnical facilities was not fully carried out in the period from 1991 to 2005. This had a consequence of an ever lower operation level of surface drainage systems. Since 2006, activities were intensified to bring hydroamelioration systems back to their design/implementation level. Their dimensioning was carried out with the design rainfall of 40 to 60 mm/day on 80 % of amelioration surfaces in the lowland parts of the Drava, Danube and Sava river

basins. In 2010, on the majority of hydroameliorated surfaces the recorded daily rainfall was from 50 to 120 mm. Apart from the occurrence of excessive rainfall, a part of hydroamelioration systems did not operate due to lacking regular maintenance as well. As a consequence, the water regime in agricultural areas and on hydroameliorated surfaces deteriorated and crop yields were decreased.

KEY WORDS: design rainfall, systems, parameters, surface drainage, regular maintenance, operation

1. UVOD

Svjetska iskustva su potvrdila da su najrazvijenije države koje imaju (pred)uvjete i ostvaruju visoku razinu proizvodnje hrane i energije kako za svoje potrebe tako i za izvoz u druge države. *Glavni preduvjet za proizvodnju hrane su prirodna obilježja melioracijskih područja te izgradnja sustava odvodnje i navodnjavanja poljoprivrednih zemljišta*. Njihovom kvalitetnom izgradnjom i redovitim održavanjem stvara se i održava optimalni vodni režim tala za potrebe ostvarenja visokih i stabilnih prinosa biljnih kultura. Glavni projektni i izvedbeni parametri sustava za odvodnju suvišnih površinskih i podzemnih voda kao i za navodnjavanje ovise o prirodnim obilježjima melioracijskih područja i potrebama optimalnog razvoja biljnih kultura. *Za iznalaženje tehnički i financijski održivih rješenja hidromelioracijskih sustava potrebna je provedba terenskih snimanja i ispitivanja* (po potrebi i laboratorijskih) *te sistematizacija i analiza klimatskih, topografskih, hidroloških, pedoloških, geotehničkih i vegetacijskih podloga i podataka melioracijskih područja*. Također je važno imati na umu da stupanj funkcioniranja hidromelioracijskih sustava ovisi o stupnju izgrađenosti i održavanja hidrotehničkih građevina i sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda i to kako rijeka tako i brdskih vodotoka.

2. OSNOVNI POKAZATELJI O IZGRAĐENOSTI H.S. POVRŠINSKE ODVODNJE U HRVATSKOJ

Ukupne poljoprivredne površine Hrvatske su 3.137.114 ha, a od toga obradive površine su 2.020.626 ha. Analiza terenskih obilježja melioracijskih područja pokazala je da je izgradnja sustava za površinsku odvodnju potrebna na 1.673.792 ha površina, a aktualni pokazatelji su:

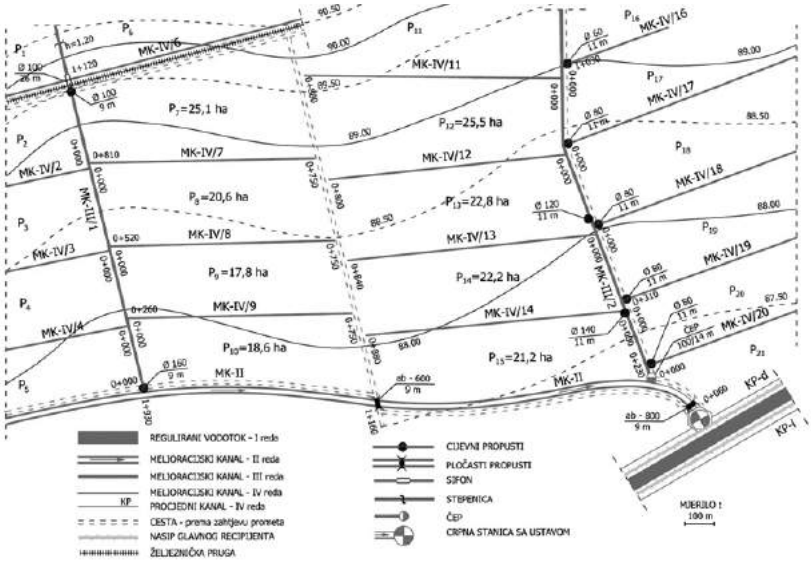
1) Potpuno izgrađeni sustavi površinske odvodnje (43,3 posto) 724.749 ha
2) Dijelom – nepotpuno izgrađeni „ (19,4 posto) 324.662 ha
3) Preostala potreba izgradnje „ (37,3 posto) 624.381 ha

Na površinama s potpuno i dijelom izvedenim sustavima površinske odvodnje izgrađeni su:

- Melioracijski kanali III. (sabirni ili grupni) i IV. reda (parcelni ili detaljni) 24.713 km
- Tipski betonski cijevni propusti promjera 50-200 cm 21.659 građevina
- Betonski pločasti propusti otvora (raspona) 2,00-10,0 m 1.486 građevina
- Betonske i kamene stepenice visine 0,80-1,20 m na MK-IV. i III. reda 1.085 građevina

- Mehanički i automatski čepovi promjera 50-200 cm 506 građevina
- Ostale hidrotehničke građevine na melioracijskim kanalima 1.466 građevina
- Crpne stanice za mehaničku odvodnju suvišnih voda s 276.000 ha melioracijskih nizinskih površina – ukupnog kapaciteta 320,9 m^3/s i snage 22.470 KW 75 građevina

Sadašnji stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju površinskih voda u Hrvatskoj ne zadovoljava potrebe i mogućnosti suvremenog razvoja poljoprivrede. Također treba navesti problem nedovoljnog stupnja održavanja melioracijskih kanala IV. i III. reda kao i hidromelioracijskih građevina. Poslovi na „dovođenju" melioracijskih kanala IV. i III. reda na njihovu projektno-izvedbenu razinu započeti su 2006. godine, ali još uvijek nisu u potpunosti dovršeni. Zbog toga ne zadovoljava niti razina njihovog funkcioniranja odnosno ne ostvaruje se pravovremena odvodnja suvišnih voda s dijela nizinskih poljoprivrednih. *Posljedica toga su štete na biljnim kulturama odnosno smanjenje njihovih prinosa*. Na slici 1 prikazano je najčešće rješenje sustava površinske odvodnje s putnom mrežom i hidrotehničkim građevinama na nizinskom slivnom području Drave, Dunava i Save.



Slika 1. Hidromelioracijski sustav površinske odvodnje s putnom mrežom.

3. UTJECAJ PRIRODNIH OBILJEŽJA POLJOPRIVREDNIH ZEMLJIŠTA NA PROJEKTNO-IZVEDBENE PARAMETRE MELIORACIJSKIH KANALA IV. REDA

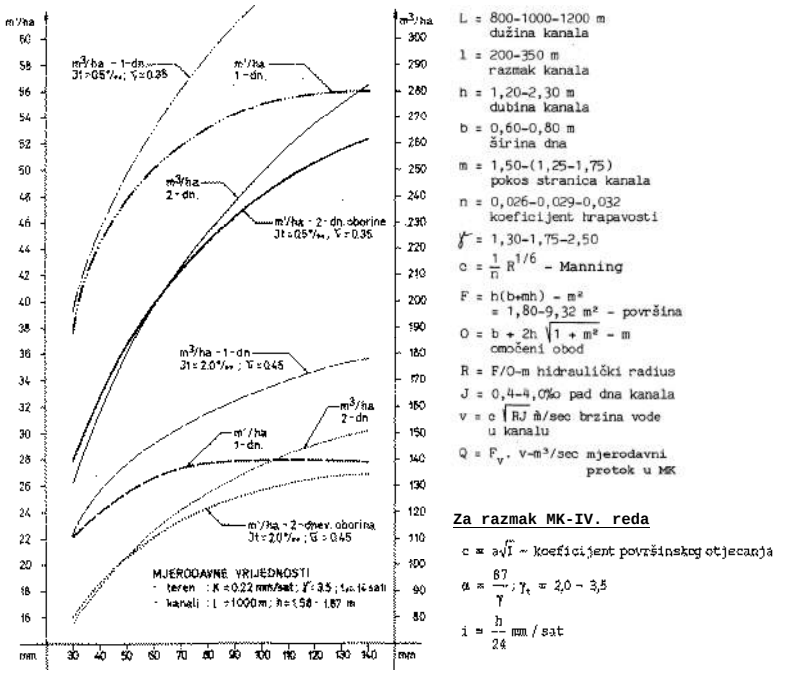
Za određivanje razmaka melioracijskih kanala IV. reda na poljoprivrednim površinama prosječnog pada od 0,5 do 2,0 promila slivnih područja Drave, Dunava i Save potvrdila se opravdana primjena formule A. N. Kostjakova:

$$l = \frac{0{,}5 \cdot c \cdot t_o^{\,2}\left[(\sigma \cdot i)^{0{,}75} + 4K_1\right]^2}{\sigma \cdot i} m$$

Mjerodavne vrijednosti prirodnih obilježja melioracijskih područja površine 333.530 ha su slijedeće:

- h = 30-140 mm / dan i h = 30-140 mm / 2 dana
- I_t = 0,50-2,0 promila – prosječan pad terena melioracijskih područja (polj. zemljišta)
- t_o = 12-18 sati – mjerodavno vrijeme otjecanja vode s poljoprivrednih površina
- σ = 0,25-0,45 – koeficijent otjecanja površinske vode s poljoprivrednih površina
- K = 0,22-0,25 mm/sat – prosječan koeficijent propusnosti tla u zoni rizosfere
- γ_t = 3,50 – koeficijent obrade (hrapavosti) terena odnosno poljoprivrednih zemljišta
- I_k = 0,4 promila – prosječan pad dna melioracijskih kanala IV. reda

Navedeni parametri se odnose na 46 posto polj. površina s potpuno izgrađenim h.s. površinske odvodnje u Hrvatskoj. *Izvršena je sistematizacija i analiza 98 projekata sustava površinske odvodnje za melioracijska područja na slivu Drave, Dunava i Save*. Izgrađeni sustavi površinske odvodnje su na području katastarskih općina Slavonije i Baranje, gdje je prethodno provedena (re)komasacija zemljišta. *Kako inozemna tako i naša praksa je potvrdila da su najkvalitetnija projektno-izvedbena rješenja sustava površinske odvodnje ostvarena na melioracijskim površinama s prethodno provedenom (re)komasacijom zemljišta te izgrađene i redovito održavane hidrotehničke građevine za zaštitu od štetnog djelovanja voda*



Slika 2. Gustoća melioracijskih kanala IV. reda (m'/ha) i količina iskopa (m3/ha).

Odgovarajući proračuni su provedeni za mjerodavne oborine od 30 do 140 mm / 1 dan i 30-140 mm / 2 dana – za Δh = 10 mm. Zbog ograničenog opsega rada ne daje su tablični rezultati koji su dovoljno pregledno prikazani na slici 2. Za prosječan pad terena I_t = 0,5 promila i koeficijent površinske odvodnje 0,35 mjerodavni pokazatelji su slijedeći:

- Mjerodavni hidromodul površinske odvodnje od 1,05 do 5,47 l/s/ha
- Razmak melioracijskih kanala IV. reda od 180 do 252 m
- Gustoća melioracijskih kanala IV. reda od 56,0 do 39,7 m/ha
- Dužina melioracijskih kanala IV. reda 1000 m
- *Ukupan iskop melioracijskih kanala IV. reda od 339,4 do 196,9 m³/ha*
- Mjerodavna protoka u MK-IV. reda od 18,9 do 137,8 l/s
- Prosječna dubina MK_IV. reda: hv + hn (dubina vode + „nadvišenje“ od 1,0 do 1,2 m).

Pored dominantnog utjecaja mjerodavne jednodnevne i dvodnevne oborine (od 30-140 mm) treba sagledati i utjecaj ostalih terenskih obilježja melioracijskih područja na glavne parametre sustava površinske odvodnje. Također je važno imati na umu da je oko 70 posto sustava površinske odvodnje na području Slavonije i Baranje projektirano s mjerodavnim oborinama od 40 do 60 mm/dan.

Za prosječan pad terena I_t = 2,0 promila i koeficijent površinske odvodnje 0,45 mjerodavni pokazatelji su sljedeći:

- Mjerodavni hidromodul površinske odvodnje je od 1,05 do 2,26 l/s/ha, a prosječna količina vode u MK-IV. reda od 32,4 do 68,7 l/s,
- Razmak MK-IV. reda od 200,1 do 304,0 m, gustoća MK-IV. reda od 32,9 do 50 m/ha, iskop MK-IV. reda od 157,9 do 265 m³/ha.

Iz provedenih proračuna vidljivo je da svakih 10 mm oborine utječe na povećanje razmaka MK-IV. reda od 9,6-13,9-21-32,6 m – za jednodnevne i dvodnevne oborine od 40 do 60 mm. Za svakih 10 mm oborine povećava se mjerodavni hidromodul površinske odvodnje od 0,20 do 0,40 l/s/ha. *Navedeni rezultati istraživanja su od velikog značenja za vrednovanje utjecaja mjerodavnih jednodnevnih i dvodnevnih oborina na razmake MK-IV. reda, ali i na njihove geometrijske* (dubina, širina dna, nagib stranica, gornja širina) i hidrauličke parametre (omočeni obod, hidraulički radijus, površina, pad dna, brzina vode). O navedenim parametrima ovise glavne vrste radova (iskop i razastiranje zemlje) u procesu izgradnje, ali i održavanja melioracijskih kanala (košnja dna i pokosa kanala, tehničko čišćenje – izmuljenje kanala). *Treba naglasiti da projektni parametri melioracijskih kanala direktno utječu i na dimenzije ostalih hidromelioracijskih građevina, a to su: tipski betonski propusti, betonski pločasti propusti, stepenice, zaštita dna i pokosa kanala od erozije, ustave, sifoni, ušća*.

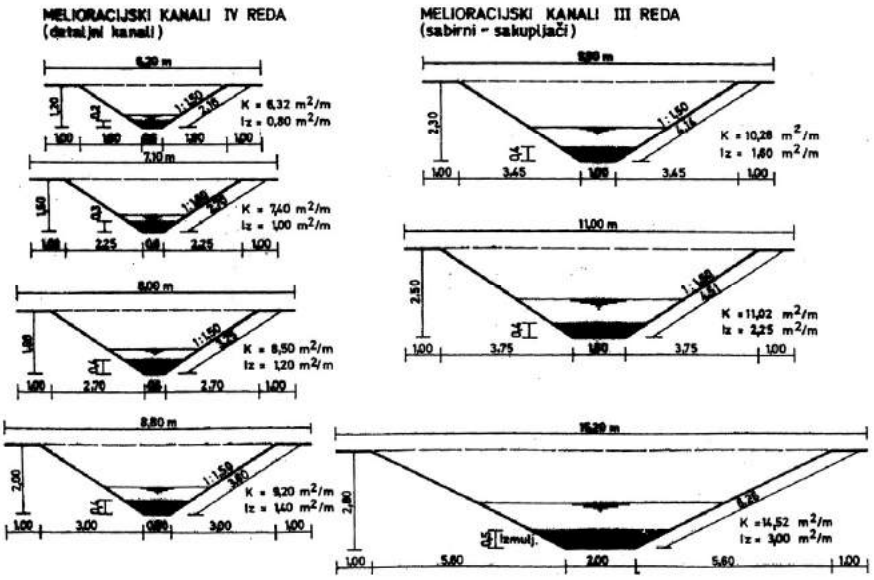
4. UTJECAJ OSNOVNIH PARAMETARA MELIORACIJSKIH KANALA NA KOLIČINE GLAVNIH RADOVA NJIHOVOG ODRŽAVANJA

Analiziran je utjecaj širine dna, nagiba pokosa, dubine i ukupne širine melioracijskih kanala IV. i III. reda na količine glavnih radova njihovog tehničkog održavanja. Vrijednosti ostalih parametara MK-IV. i III. reda prikazani su na slici 3 i 4. Na osnovu sistem-

atiziranih podataka 98 izgrađenih hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje i provedenih analiza kao i relevantnih jediničnih cijena određena je struktura troškova glavnih radova redovitog tehničkog održavanja h.s. površinske odvodnje, a osnovni pokazatelji su sljedeći:

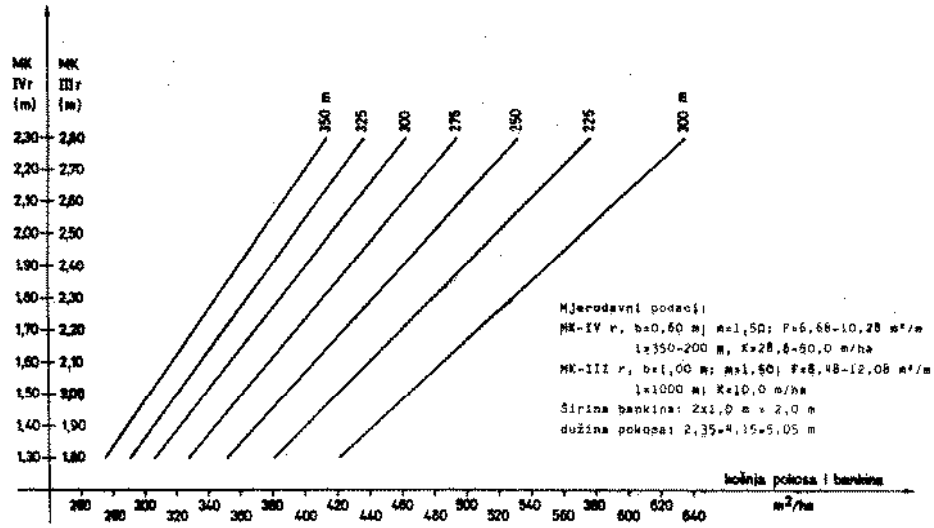
1) Košnja pokosa i bankina MK-IV. i III. reda – jedan do dva puta godišnje
   36 %
2) Košnja dna MK-IV. i III. reda – jedan do dva puta godišnje
   12 %
3) Tehničko čišćenje (izmuljenje) dna MK-IV. i III. reda – svake četvrte godine
   40 %
4) Ostali poslovi redovnog održavanja sustava površinske gravitacijske odvodnje
   12 %

U svezi navedenih pokazatelja i naslova ovog rada bitno je sagledati i korektno vrednovati utjecaj prirodnih obilježja melioracijskih područja na projektno-izvedbene parametre melioracijskih kanala IV. i III. reda te da o njima ovise troškovi izgradnje i održavanja sustava površinske odvodnje.



Slika 3. Karakteristični poprečni profili melioracijskih kanala IV. i III. reda - s osnovnim podacima za glavne poslove njihovog održavanja.

Na slici 3 prikazani su najčešći poprečni presjeci melioracijskih kanala IV. i III. reda – za analiziranih 98 projekata izgrađenih sustava na 333.530 ha nizinskih melioracijskih područja sliva Drave, Dunava i Save. Važno je korektno vrednovati utjecaj geometrijskih parametara melioracijskih kanala na količine košnje pokosa i bankina te izmuljenja odnosno tehničkog čišćenja dna (m^2/m).



Slika 4. Ukupna košnja pokosa i bankina melioracijskih kanala IV. i III. reda - za redovno održavanje sustava površinske odvodnje.

Na slici 4 za mjerodavne dubine MK-IV. reda od 1,20 do 2,30 m i MK-III. reda od 1,80 do 2,80 m te razmake MK-IV. reda od 200 do 350 m prikazana je ukupna količina jednokratne košnje (m^2/ha). Izmuljenje dna se obračunava prema njegovoj širini i navedenim dubinama nanosa odnosno mulja u kanalima od 0,20 do 0,40 m te nagibom pokosa 1:1,50. Također je važno pravovremeno sagledati utjecaj dubine i pokosa melioracijskih kanala na izbor strojeva za košnju trase (samohodnih i traktor-kosilica) i izmuljenje odnosno čišćenje mulja iz kanala (kanaločistači ili bageri s odgovarajućim uređajima).

Kod izmuljenja melioracijskih kanala na zemljištima s izgrađenim sustavima podzemne odvodnje treba prethodno izvršiti zaštitu i ručno ukloniti raslinje oko izljeva drenažnih cijevi kako ne bi došlo do njihovog oštećenja i prestanka funkcioniranja. Nažalost od 2006. do 2010. godine dio drenažnih izljeva je uništen u procesu tehničkog čišćenja odnosno „dovođenja“ melioracijskih kanala IV. i III., reda na njihovu projektno-izvedbenu razinu. Posljedica toga je da dio hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje ne funkcionira odnosno prekomjerno zadržavanje vode u rizosferi – aktivnom sloju tla u kojem se razvija korijen biljnih kultura.

5. POSLJEDICE UTJECAJA MAKSIMALNIH OBORINA I STUPNJA ODRŽAVANJA NA FUNKCIONIRANJE SUSTAVA POVRŠINSKE ODVODNJE U 2010. GODINI.

U 2010. godini su na više melioracijskih područja zabilježene jednodnevne i dvodnevne oborine intenziteta i preko 100 mm. U sklopu toga treba imati na umu da je većina sustava površinske odvodnje na slivnim područjima Drave, Dunava i Save projektirana i izgrađena s parametrima melioracijskih kanala IV. i III. reda dimenzioniranjem s mjerodavnim jednodnevnim oborinama od 40 do 60 mm. Pored dominantnog utjecaja maksi-

malnih jednodnevnih i dvodnevnih oborina na razmak MK-IV. reda (od 200 do 350 m) i mjerodavni hidromodul površinskog otjecanja (od 1,5 do 3,0 l/s/ha) bitno je pravovremeno sagledavanje i vrednovanje utjecaja *Manning-ovog koeficijenta* i omočenog oboda melioracijskih kanala IV. i III. reda. U procesu hidrauličkog dimenzioniranja melioracijskih kanala za njihovo kvalitetno i redovito održavanje uzima se vrijednost Manning-ovog koeficijenta 0,026, a za srednju razinu održavanja 0,029. Njegova vrijednost ovisi o geometrijskim parametrima melioracijskih kanala, ali je i u funkciji odnosa srednje brzine vode (v = m/s) i hidrauličkog radijusa (R-m). Međutim treba imati na umu da Manning-ov koeficijent ovisi o razvoju vegetacije (trava, šiblje, trnje, stabla) u profilu melioracijskih kanala te padu dna kanala, promjenama dubine i količine vode u kanalima odnosno stupnju održavanja melioracijskih kanala IV. i III. reda.

Nažalost primijenjene vrijednosti Manning-ovog koeficijenta za hidrauličko dimenzioniranje melioracijskih kanala često ne odgovaraju stvarnim uvjetima tečenja vode u njima. Njegove negativne promjene i usporeno tečenje vode u melioracijskim kanalima je u najvećoj mjeri posljedica ne izvršavanja poslova njihovog redovitog održavanja.

Nažalost pored problema nedovoljnog stupnja izgrađenosti u Hrvatskoj je od 1991. do 2005. godine prisutan stalni problem odnosno smanjenje realnog iznosa sredstava za poslove kontinuiranog i kvalitetnog izvršavanja poslova redovitog održavanja vodnih građevina i sustava površinske odvodnje. Najveći problemi su kao posljedice ratnih razaranja tijekom Domovinskog rata – kada je oštećen veći dio hidrotehničkih građevina na 296.500 ha poljoprivrednih zemljišta s prethodno provedenom (re)komasacijom i izgrađenim sustavima površinske odvodnje. *Ali nažalost i na većem dijelu ostalih melioracijskih područja poslovi redovnog održavanja građevina i sustava površinske odvodnje su ostvareni od 18 do 42 posto u odnosu na ukupne potrebe i to u razdoblju od 1991. do 2005. g*. Posljedice toga su dovele do sve nižeg stupnja odvodnje suvišnih površinskih voda s poljoprivrednih, ali i ostalih zemljišta. Pogoršanje vodnog režima poljoprivrednih zemljišta dovodi do povećanja troškova u procesu pripreme zemljišta te uzgoja biljnih kultura uz istovremeno smanjenje njihovih prinosa.

Treba naglasiti da niti maksimalni intenziteti jednodnevnih i dvodnevnih oborina u 2010. godini nisu jedini razlog nižeg stupnja funkcioniranja sustava površinske odvodnje na dijelu nizinskih melioracijskih područja sliva Drave, Dunava i Save. Također je važno imati na umu da su na poljoprivrednim zemljištima s kvalitetno i kontinuiranim izvršavanjem poslova redovnog održavanja sustava površinske odvodnje ostvareni viši prinosi biljnih kultura uz manje troškove njihovog uzgoja. *Nažalost na dijelu zemljišta s izgrađenim sustavima kombinirane odvodnje u procesu izmuljenja odnosno čišćenja profila melioracijskih kanala od raslinja oštećeni su izljevi drenažnih cijevi. Posljedica toga je da je došlo do smanjenja stupnja odvodnje podzemnih voda odnosno njihovog prekomjernog zadržavanja u rizosferi – sloju tla u kojem se razvija korijen biljnih kultura*.

ZAKLJUČAK

Potreba izgradnje i redovitog održavanja hidrotehničkih sustava je u cilju stvaranja i održavanja vodnog režima poljoprivrednih tala prema zahtjevima optimalnog razvoja te ostvarenja visokih i stabilnih prinosa biljnih kultura. Od ukupnih potreba na 1.673.792 ha sustavi površinske odvodnje u potpunosti izgrađeni na 43,3 posto, a dijelom na 19,4 pos-

to. Nažalost pored problema nedovoljnog stupnja izgrađenosti od 1991. do 2005. godine nisu izvođeni u potrebnoj mjeri niti radovi redovitog održavanja melioracijskih kanala i pripadajućih hidrotehničkih građevina sustava površinske odvodnje. Na osnovu sistematiziranih i analiziranih podataka za 333.530 ha izgrađenih sustava površinske odvodnje na nizinskim područjima sliva Drave, Dunava i Drave glavne konstatacije su sljedeće:

- *Projektno-izvedbeni parametri, melioracijskih kanala IV. i III. reda su određeni za mjerodavne jednodnevne oborine od 40 do 60 mm te ostala relevantna obilježja melioracijskih područja nizinskih poljoprivrednih površina*;
- *U 2010. g. na većini hidromelioriranih površina evidentirane su jednodnevne oborine od 50 do 120 mm, što je dovelo do prekomjernog zadržavanja vode na poljoprivrednim površinama i usporenog otjecanja melioracijskim kanalima do glavnih vodotoka II. reda*.

Međutim, niža razina odvodnje suvišnih površinskih voda je i posljedica neizvršavanja poslova redovitog održavanja melioracijskih kanala. Od 2006. godine uslijedile su povećane aktivnosti, ali nažalost i nedovoljna pravovremena priprema kao i samo izvršavanje poslova redovitog održavanja sustava površinske odvodnje.

Spori proces pripreme i provedbe natječaja za poslove redovitog održavanja sustava površinske odvodnje („predugo administriranje“) od nadležnih institucija vodnog gospodarstva dovodi do kasnog početka izvedbe potrebnih radova tehničkog i gospodarskog održavanja melioracijskih kanala i pripadajućih hidrotehničkih građevina. Također je bez dovoljno pripreme i kontrole u procesu tehničkog čišćenja melioracijskih kanala oštećen i uništen dio drenažnih izljeva sustava podzemne odvodnje. Posljedica toga je pogoršanje vodnog režima u aktivnom sloju tla u kojem razvija korijen biljnih kultura. *Također je i u 2010. g. potvrđena konstatacija da su na poljoprivrednim zemljištima s nedovoljnim stupnjem održavanja sustava površinske odvodnje povećani troškovi u procesu uzgoja biljnih kultura* – od pripreme zemljišta za njihovu sjetvu i sadnju do njihove žetve i berbe. Sastavni dio tog problema je i ostvarenje nižih prinosa biljnih kultura što dovodi do nepotrebnog i neopravdanog uvoza hrane u Hrvatskoj.

LITERATURA

[1] Tomić, F., Marušić, J., (1993.): Hidrotehničke melioracije – preduvjet razvitka hrvatske poljoprivrede, „Strategija dugoročnog razvitka hrvatske poljoprivrede“, (Karlović, M.; Tadić, M.), MPŠRH, Zagreb, str. 180-189.

[2] Mađar, S., Marušić, J., Tomić, F., (1996.): Stupanj uređenosti poljoprivrednog zemljišta u Hrvatskoj, „Nacionalno izvješće Republike Hrvatske za svjetski skup o proizvodnji hrane“, Roma, str. 1-15.

[3] Mađar, S., Šoštarić, J., Tomić, F., Marušić, J., (1997.): Some climatic changes and its impact on agriculture in Eestearn Croatia. International Conference „Sustainable Agriculture for food, energy and Industry!, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Braunschweig, Germany, p 102-112.

[4] Marušić, J., Mađar, S., Tomić, F., (1997.): Hidromelioracijski sustavi za odvodnju, sjetvene površine i prirodi pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 1996. g.,

Hrvatske vode, 6, 22, str. 1-20.

[5] Marušić, J., (1998.): Utjecaj oborina na projektne elemente hidromelioracijskih sustava za odvodnju, Znanstveni skup s međunarodnim sudjelovanjem „Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama“, (Maceljski, M.), HAZU, Zagreb, str. 93-102.

[6] Marušić, J., (1998.): Hydroamelioration Works and Drainage Systems in the Danube Basin in Croatia“, XIX Conference of the Danube Countries – on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management; (Gereš, D.; Trninić, D.;), Hrvatske vode i UNESCO, Osijek, p 587-596.

[7] Mađar, S., Marušić, J., Tadić, Z., Tomičić, D., Šoštarić, J., (1998.): Irrigation in Sustainable Agriculture in the Danubian Region of Croatia, prema r.br. 6, p 609-618.

[8] Marušić, J., (1999.); Održavanje melioracijskih kanala i vodnog režima poljoprivrednih zemljišta, „Druga hrvatska konferencija o vodama“, (Gereš, D.;), Hrvatske vode i stručno-znanstvene udruge vodnog gospodarstva i srodnih djelatnosti, Dubrovnik, str. 673-680.

[9] Marušić, J., (2000.): Utjecaj hidroloških obilježja na projektne elemente i potreba održavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju, Stručno-znanstveni skup „Hidrologija i vodni resursi Save u novim uvjetima“, (Trninić, D.), HHD i HDON, Slavonski Brod, str. 381-392.

[10] Marušić, J., (2001.): Komasacije i hidromelioracije zemljišta – preduvjet dugoročnog i stabilnog razvitka poljoprivrede, Geodetski list, 55 (78), 2, Zagreb, str. 105-120.

[11] Marušić, J., (2003.): Izgradnja i održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Hrvatskoj, Stručno-znanstveni skup „Stanje i održivi razvoj hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj, tematski broj časopisa „Hrvatske vode“, 11 82003.), 45, Zagreb, str. 1-12.

[12] Marušić, J., (2006.): Utjecaj održavanja hidromelioracijskih sustava na gospodarenje poljoprivrednim zemljištem, X. Kongres Hrvatskog tloznanstvenog društva – s međunarodnim sudjelovanjem, „Uloga tla u okolišu“, (Kisić, I.), Hrvatsko tloznanstveno društvo u suradnji sa stručno-znanstvenim institucijama iz područja poljoprivrede Hrvatske, Šibenik, str. 103-114.

[13] Tomić, F., Romić, D., Mađar, S., (2007.): Stanje i perspektive melioracijskih mjera u Hrvatskoj; Znanstveni skup „Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora – s težištem na Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (Maceljski, M., Tomić, F.), HAZU, Zagreb, str. 7-20.

[14] Marušić, J., (2007.): Izgradnja, obnova i održavanje hidrotehničkih građevina za zaštitu od površinskih voda u Hrvatskoj, r.br. 13, str. 77-98.

[15] Petošić, D., Šimunić, I., (2007.): Relativizacija postojećih i koncepcija rješavanja novih sustava detaljne odvodnje, r.br. 13, str. 99-116.

AUTORI

Josip Marušić [a]
Damir Bekić [b]
Danko Holjević [c]

[a] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, marusicj@grad.hr

[b] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, damir.bekic@grad.hr

[c] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, dholjev@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.15.

KONTROLIRANO NAVODNJAVANJE NA PRINCIPIMA ODRŽIVE POLJOPRIVREDE

Marko Josipović, Jasna Šoštarić, Hrvoje Plavšić, Josip Marušić, Monika Marković, Željko Kraljičak

SAŽETAK: Na području Osječko-baranjske županije su analizirana vodna svojstva tri tipa tla i opisani uvjeti uzgoja krumpira, sjemenskog kukuruza i jabuka. Na osnovi višegodišnjih podataka (1971. - 2000.) i sušne 2009. godine izračunata je bilanca vode u tlu. Retencijski kapacitet, lentokapilarna voda i vlažnost venuća pojedinog tla utvrđeni su pomoću „pressure membrane" i „porous plate" uređaja. Opisane su potrebe za vodom navedenih kultura i izračunati su obroci navodnjavanja. Sadržaj lako pristupačne vode (LPV) do 20 cm na pjeskovitoj ilovači iznosio je 18,2 l, a 25,5 l na praškasto glinovitoj ilovači. Sadržaj pristupačne vode (PV) do 20 cm iznosio je 30,3 l na pjeskovitoj ilovači, a do 42,4 litre na praškasto glinovitoj ilovači. Za centimetar dubine tla na pjeskovitoj ilovači, za navodnjavanje treba 0,9 litara LPV na 1 m^2, a 1,5 litara PV, dok je za 20 cm na praškasto glinovitoj ilovači potrebno 1,3 litara LPV odnosno 2,1 litra PV. Navodnjavanje na temelju vodnih svojstava tla, uvažavajući potrebe kulture za vodom i razvijenost njena korijena, treba biti osnova izračuna obroka navodnjavanja, što je u cijelosti održivo navodnjavanje.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, održiva poljoprivreda, krumpir, linije kukuruza i jabuka

IRRIGATION CONTROL ON THE SUSTAINABLE AGRICULTURE

SUMMARY: In the Osječko-baranjska county (Croatia) soil water properties of three soil types were analyzed and basic growing conditions of potato, maize for seed and apple described. On the long therm climatic data basis and year 2009 soil water balance were calculated. Soil retention capacity, lento capillary soil water content and wilting point content of soils was ordered by „pressure membrane" and „porous plate" apparatus. Water supply of mentioned crops were described and irrigation rate were calculated. Easy available soil water content (LPV) up to 20 cm deep on the sandy loam was 18.2 l, and 25.5 l, on the silt clay loamy soil. Available soil water content (PV) up to 20 cm deep on the sandy loam was 30.3 l and 42.4 l on the silt clay loamy soil. For each cm deepness on sandy loamy soil, is necessary ensure for irrigation 0.9 l m^2 LPV and 1.5 l m^2 PV, while for 20 cm deepness of silt clay loamy soil is necessary ensure for irrigation 1.3 l m^2 LPV or 2.1 l m^2 PV. Irrigation on the soil water properties, respected crop water requirement

and crop root development, should be basis for calculate of irrigation rate, that is realy sustainable irrigation.

KEY WORDS: irrigation, sustainable agriculture, potato, inbred lines and apple

1. UVOD

Postizanje maksimalnih uroda je cilj gotovo svake proizvodnje. U istraživanom području količina oborina je nedovoljna za postizanje sigurnih uroda poljoprivrednih kultura, a brojna istraživanja ukazuju da je navodnjavanje neophodno (Mađar i sur., 1985., Tomić i Marinčić, 1987., Josipović i sur., 2005., Plavšić et al., 2007.). No ne treba navodnjavati po svaku cijenu jer su voda i zemljište ograničeni resursi koje treba koristiti znalački i na principima održivosti. S ciljem optimiranja navedenih čimbenika, izračunate su potrebne količine vode na tri tipa tla za krumpir, sjemenski kukuruz i jabuke. U uskoj vezi sa potrebom navodnjavanja i smanjenjem uroda većine kultura je dužina trajanja sušnog razdoblja (Kovačević i sur., 2009., Kovačević i sur., 2010.). Sušno razdoblje u srpnju i kolovozu smanjuje urod zrna kukuruza, krumpira i jabuka. Cilj rada je na osnovi određenih vodnih svojstava istraživanih tala odrediti obrok navodnjavanja kako bi se dodalo vode koliko je potrebno, što je temelj održivosti.

2. MATERIJAL I METODIKA

Na tri lokaliteta na području Osječko-baranjske županije, utvrđena su vodna svojstva tla: retencijski kapacitet tla za vodu (Rkv), specifična masa stvarna (Smp), specifična masa volumna (Smv), mehanički sastav tla i sadržaj vode u tlu pri vodnim „konstantama": retencijski kapacitet tla za vodu, lentokapilarna voda i vlažnost venuća (33 kPa, 625 kPa i 1500 kPa). Kemijska i fizikalna i vodna svojstva prikazana su u tablicama 2, 3. i 4. Na temelju vodnih svojstava koja su određena djelovanjem pozitivnog tlaka zraka („Porous plate" i „pressure membrane" uređaji za konstrukciju pF krivulje) izračunat je sadržaj lako pristupačne i pristupačne vode u tlu i opisana potrebna količina vode za: a) krumpir, b) jabuke i sjemenski kukuruz. Također su utvrđeni bitni elementi navodnjavanja: a) obrok navodnjavanja, b) potrebna količina vode za navodnjavanje tla do dubine glavnine korjenova sustava. U Donjem Miholjcu je analizirano aluvijalno, pjeskovito tlo, od rijeke Drave udaljeno oko 1 km; u Osijeku nekarbonatni humofluvisol, praškasto glinasto ilovast i pjeskovito aluvijalno tlo (voćnjak jabuka) u Švajcarnici (Baranja).

2.1. Agroklimatski uvjeti područja istraživanja

Klimatski podatci za 2009. godinu za Osijek su prikazani po mjesecima vegetacije (travanj - – rujan) i višegodišnji prosjek, 1961. - 2000. u Tablici 1., (Državni hidrometeorološki zavod). Prosječna temperatura zraka u vegetaciji (travanj - rujan) 2009. godine iznosila je 20,0 °C (2,5 °C više od prosjeka). Temperature zraka tijekom 2009. godine su uglavnom bile veće od prosjeka, sa posebno vrućim srpnjem i kolovozom (2,5 i 3,2 °C više od prosjeka). U vegetaciji je palo samo 230,8 mm oborina (višegodišnji prosjek je 368,3 mm). Oborine pale u rujnu, ne treba ni računati, jer je vegetacija krumpira i sjemenskog kukuruza završila. Istraživana tla imaju rezervu zimske vode (do 100 cm dubine) oko 100 mm na lakšim tlima (voćnjak jabuke) do 100 mm na tlu težeg mehaničkog sasta-

va (do 40 cm dubine). Dakle, biljke u prosječnoj godini imaju na raspolaganju oko 470 mm vode (rezerva vode u tlu + pale oborine u vegetaciji) što je dosta vode, ali nedovoljno za ostvarivanje punog genetičkog potencijala.

Godina /mjesec	Prosječna temperatura zraka,°C 2009.	Prosjek 1961. - 2000.	Količina oborina, mm 2009.	Ukupno 1961. - 2000.
IV	14,6	11,3	15,7	54,1
V	19,0	16,5	45,5	58,9
VI	19,7	19,4	73,9	83,5
VII	23,6	21,1	31,0	66,6
VII	23,5	20,3	61,9	59,6
IX	19,6	16,6	2,8	51,8
Prosjek /Ukupno	20,0	17,5	230,8	368,3

Tablica 1. Prosječne temperature zraka i oborine 2009. god. i prosjek (1961. - 2000.), Osijek

2.2. Kemijska i fizikalna svojstva tla

Mehanički sastav istraživanih tala prikazan je u tablici 2, a u tablicama 3. i 4. prikazana su vodna svojstva tala. Pjeskovito tlo u Švajcarnici sa pH 5,67 ukazuje na moguće poteškoće pri usvajanju fosfora, a humoznost tala je mala do vrlo mala (od 1,28 do 2,13%). Sadržaj fosfora (od 18,2 do 39,5 mg 100 g) i kalija (od 19,1 do 35,4 mg 100 g) istraživanih tala je na zadovoljavajućoj razini, uvažavajući tip tla, dok tlo u Švajcarnici ima vrlo malo dušika. Obzirom da ima i vrlo mali sadržaj humusa, rezerve N u tlu su male, stoga je potrebno tijekom vegetacije voditi računa o količini N. Relativno mali sadržaj gline, velik udjel pijeska i praha ukazuju da tlo u Švajcarnici ima nepovoljna vodna svojstva, stoga ga treba vrlo često navodnjavati. Tlo na Poljoprivrednom institutu Osijek ima dosta gline (30,31%), što je sa stanovišta vodnog kapaciteta povoljno no značajno je povećana zbijenost tla, a prisustvo sitnog praha povećava sklonost pokorici. Za proizvodnju povrća, a posebno krumpira uz osiguranje sustava za navodnjavanje vrlo je povoljno tlo u Donjem Miholjcu.

Red. broj	Laborat. Broj	Dubina tla, cm	1					
			Pijesak 0,2-2 mm	Pijesak 0,063-0,2 mm	Prah 0,02-0,063 mm	Prah 0,002-0,02 mm	Glina <0,002 mm	Teksturna oznaka
1.	49/09	0-30	15,45	44,59	15,03	12,50	12,43	PI
2.	51/09	0-30	1,10	4,02	37,74	39,42	17,72	PrI
3.	21/00	0-30	1,00	0,94	27,70	40,06	30,31	PrGI

Redni broj - redovi: 1. Voćnjak Švajcarnica; 2. Kožićeva njiva; 3. Poljoprivredni institut Osijek (T-II).
1. Kolona: Određivanje mehaničkog sastava tla u Na - pirofosfatu

Tablica 2. Mehanički sastav istraživanih tala - prema trokutu za određivanje teksturnih klasa tla, izvor: Guidelines for soil description, FAO (1990)

2.3. Bilanca vode u tlu

Bilanca vode u tlu je računata prema metodi Thornthwaitea, a predstavlja dinamičnu vrijednost odnosno kvantitativne promjene sadržaja vode u tlu, u određenom razdoblju na određenom mjestu, pri čemu se uzimaju u obzir svi elementi priliva i potrošnje vode iz kojih su promjene rezultirale. Bilanca vode je računata na temelju klimatskih podataka višegodišnjeg prosjeka (1971. - 2000.) i za sušnu 2009. godinu.

2.4. Obrok navodnjavanja

Obrok navodnjavanja izračunat je kako slijedi:

$O = 100 * h * a (PVK - Tv)$ u m^3 gdje su: (1)

O = obrok navodnjavanja, m^3 ha^{-1}; d = planirana dubina vlaženja tla, m; a = specifična masa volumna, g cm^3; PVK = poljski vodni kapacitet = retencijski kapacitet tla za vodu, % težinski; Tv = trenutni sadržaj vode u tlu, % težinski.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Vodna svojstva tala

Na temelju izračunatih vrijednosti u tablici 4. je primjetno da najmanje pristupačne i LPV ima pjeskovito tlo u Švajcarnici (voćnjak). Navedeno tlo do 20 cm dubine sadrži samo 10,8 litara LPV odnosno 18,0 litara PV, a u sloju 40 cm dvostruko. Spomenuto ukazuje da je ovo tlo potrebno često navodnjavati jer tu količinu vode biljke brzo potroše, pogotovo u ljetnom razdoblju. Vlaženje sloja tla do 20 cm sasvim je dovoljno za luk, salatu, jagode i druge biljke plitkog korjenovog sustava, a ostale kulture ovisno o fazi razvoja biljke odnosno dubini glavnine njezinog korijena. Za drvenaste kulture, razvijena korjenova sustava, treba navodnjavati do 40 cm dubine i dodati najmanje 21,6 litre vode za navedeno tlo. Pri navodnjavanju treba dodati razliku sadržaja vode od trenutnog sadržaja vode do 100% retencijskog kapaciteta tla za vodu, što je ujedno i obrok navodnjavanja.

				1			2
R. br.	Lab. broj	Dubina tla, cm	0,33 bara % mas	6,25 bara % mas		15 bara % mas	Gčf gcm^{-3}
1.	49/09	0-30	14,43	6,69		5,12	2,70
2.	51/09	0-30	28,44	12,51		10,06	2,63
3.	21/00	0-30	30,32	14,84		12,31	2,60
			3	4	5	6	7
R. br.	Lab. broj	Dubina tla, cm	Vg gcm^{-3}	PV % mas	PV % vol	LPV % mas	LPV % vol
1.	49/09	0-30	1,25	9,31	11,64	7,74	9,67
2.	51/09	0-30	1,35	18,36	24,81	15,93	21,51
3.	21/00	0-30	1,40	18,01	25,21	15,48	22,29

Redni broj - redovi: 1. Voćnjak Švajcarnica; pF vrij. = pF vijednost; 2. Kožićeva njiva; 3. Poljoprivredni institut Osijek (T-II). Kolone - 1. retencija tla za vodu - pF vrijednosti (HRN ISO 11274); 2. Gčf = gustoća čvrste faze tla i 3. Vg = volumna gustoća tla; 4. i 5. PV = pristupačna voda mas = maseni; vol = volumni; 6. i 7. LPV = lako pristupačna voda (2-5, Škorić, 1961.).

Tablica 3. Vodna svojstva istraživanih tala - pF vrijednosti i pristupačna voda u tlu na temelju sadržaja vode prema pF vrijednosti

Sadržaj LPV u sloju 20 cm iznosi 25,5 l na praškasto glinovitoj ilovači na Poljoprivrednom institutu u Osijeku, a do 40 cm čak 50,9 l l m^2. Iz podataka u tablici 4 proizlazi da za svaki centimetar dubine tla na pijesku (br. 1.), pjeskovito tlo u Švajcarnici, treba za navodnjavanje osigurati od 0,54 litara LPV, odnosno 0,90 litara PV, dok će za istu dubinu na Poljoprivrednom institutu Osijek trebati osigurati 1,28 litara LPV odnosno 2,12 litara PV. Na osnovi iznesenih činjenica o sadržaju vode u pojedinom tlu točno znamo količinu vode koja je potrebna za održavanje sadržaja vode u tlu, u stanju LPV za biljke odnosno kod jednog ekonomičnijeg stanja, PV u tlu. navedeni podatci nam daju odgovor na postavljeni cilj istraživanja ukazujući koliko nam je točno vode potrebno da ne bismo navodnjavali previše (gubitci vode i hranjiva u podzemlje) ili nedovoljno vode (neće povećati urod, uslijed nedostatka vode ni gnojivo neće biti pristupačno biljci).

Red broj	Lokalitet	Dubina tla, cm	RKV pF-0,33 vol%	PV 50% ret. kap.	LPV 30% ret. kap.	PV l/m^2	LPV l/m^2
			1	2	3	4	5
1.	Voćnjak Švajcarnica	0-20 0-30 0-40	18,04	9,02	5,41	18,0 27,1 36,1	10,8 16,2 21,6
2.	Kožićeva njiva	0-20 0-30 0-40	38,39	19,20	11,52	38,4 57,6 76,8	23,0 34,6 46,1
3.	Poljoprivredni institut Osijek	0-20 0-30 0-40	42,45	21,22	12,65	42,4 63,7 84,9	25,5 38,0 50,9

Kolone - 1. RKV = retencijski kapacitet tla za vodu (HRN ISO 11274); 2. PV = pristupačna voda; 3. LPV = lakopristupačna voda; 4. PV = pristupačna voda i 5. LPV = lakopristupačna voda (2-5, Škorić, 1961.).

Tablica 4. Sadržaj pristupačne i lakopristupačne vode za biljku u istraživanim tlima u 20, 30 i 40 cm dubine (50% retencijskog kapaciteta tla za vodu = pristupačna voda, a 30% retencijskog kapaciteta za vodu = lakopristupačna voda)

3.2. Bilanca vode u tlu

Bilanca vode u tlu za višegodišnji prosjek i 2009. godinu prikazana je u tablicama 6. i 7. Ukupni prirodni priliv vode kada je manji od izračunate ETP predstavlja potrebu za navodnjavanjem (nedostatak vode). Ukoliko je prirodni priliv vode značajno veći od izračunate ETP, potrebna je odvodnja vode iz tla. Izračunata bilanca vode za višegodišnji prosjek (1971. - 2000. g.) pokazuje nedostatak vode 138,5 mm tijekom vegetacije. Najveći nedostatak vode je bio u kolovozu (60,5 mm), a višak u izvan vegetacijskom razdoblju (94 mm). ETP u vegetaciji je 610 mm (698,8 mm godišnje), a stvarna ETP u vegetaciji 471,4 mm (godišnje 560,3 mm). Bilanca vode u tlu u 2009. godini ukazuje na nedostatak vode tijekom vegetacije čak 304,1 mm. Višak vode iznosio je samo 45,4 mm. ETP u vegetaciji je iznosio 653,5 mm. Bilanca vode u tlu daje i normu navodnjavanja (planiranje potreba za vodom).

3.3. Potrebe krumpira za vodom i specifičnosti navodnjavanja

Krumpir je vrlo osjetljiv i zahtjevan pri opskrbi vodom. Osjetljivost krumpira na stres uzrokovan nedostatkom vode usko je povezan sa malom moćnosti njegovog korijena. Hu-

mak tla u kojemu je smješten gomolj krumpira je najvažniji izvor vode i hranjiva i njegova kvalitetna izvedba je presudna za razvoj krumpira. Pri maksimalnoj razvijenosti lisne mase krumpir je najosjetljiviji na nedostatak vode. Puči lista krumpira počinju se zatvarati pri relativno velikom potencijalu vode u listu, smanjujući transpiraciju i fotosintezu. Stoga, će rast i urod krumpira biti značajno smanjeni uvijek kada je sadržaj PV u tlu manji od 50% PVK. Prema Lissogorov-u (cit. Vučić 1976.) krumpir koristi od sadnje do pojave prvih izdanaka 2% vode; od pojave prvih izdanaka do butonizacije od 11% do 14%; u cvatnji od 62% do 67% i od kraja cvatnje do početka odumiranja biljke od 20% do 22% (ukupno vegetacija od 397 mm do 561 mm). Na području istočne Hrvatske, za uspješnu proizvodnju krumpira nedostaje od 27 do 190 mm. Prema brojnim istraživanjima optimalni sadržaj vode u tlu od nicanja do cvatnje krumpira treba održavati iznad 70% PVK, a poslije, do kraja aktivnog porasta gomolja od 80% do 100% PVK. Za optimalni rast lisne mase vodni potencijal listova ne bi trebao biti niži od -0,4 do -0,5 MPa. Prema vodnim svojstvima naših tala, tlo na Kožićevoj njivi, za opskrbu krumpira vodom tijekom vegetacije treba kontinuirano održavati na razini LPV u tlu (Tablica 4.). Temeljem toga se u početku vegetacije treba dodati obrok navodnjavanja od 23 litre/m^2 za sloj tla do 20 cm i održavati ga pri toj vlažnosti dok se korijen jače razvije, a zatim povećati obrok na 35 litara/m^2.

3.4. Potrebe sjemenskog kukuruza za vodom i specifičnosti navodnjavanja

Uvriježeno je mišljenje da je kukuruz otporan prema suši i da ekonomično troši vodu, jer ima mali transpiracijski koeficijent. Kukuruz stvara veliku lisnu masu, daje velike urode, ima dugu vegetaciju tijekom toplog ljeta. Zahvaljujući obliku i položaju lista kukuruz dobro gospodari vodom, slijevajući se po listu, uz stablo, voda vlaži tlo gdje ju koristi površinski korijen kukuruza. Prema istraživanjima ukrajinskog Instituta od nicanja do faze 7-8 listova kukuruz koristi oko 11-12% ukupno potrebne vode, do metličanja od 19-20%, do cvatnje 22-23%, od cvatnje do završetka oplodnje 28-30%, a 15-20% u naljevanju zrna i zriobi. Prema Vučiću (1976.) sadržaj vode u tlu je vrlo pouzdan kriterij za navodnjavanje kukuruza i prema brojnim istraživanjima on je iznosio 80-100% PVK. Ovisno o vodnim svojstvima tla i fazi razvoja kukuruza, obrok navodnjavanja iznosi od 40 do 60 mm pri navodnjavanju umjetnom kišom, pa do 70 mm ili 80 mm kod površinskih načina navodnjavanja. Vučić je nakon opširnih istraživanja utvrdio da norma navodnjavanja iznosi oko 200 mm (područje Vojvodine), a za područje istočne Hrvatske to je uglavnom 150-160 mm (Josipović, 1996). Obrok navodnjavanja za kukuruz na tlu Poljoprivrednog instituta Osijek do 20 cm dubine iznosi 25,5 l m^2, neto.

3.5. Potrebe jabuke za vodom i specifičnosti navodnjavanja

Navodnjavanje jabuka je neophodno svagdje gdje je godišnja količina oborina manja od 500 mm, a područja od 500 do 750 mm karakterizira dopunsko navodnjavanje (Vučić, 1976.). Miljković (1984) je sveobuhvatno razradio bonitet tla, klime i mikroklime i reljefa kao bitne čimbenike za uzgoj voća. Pouzdano je i utvrđivanje potreba jabuke za vodom „analizom rasporeda oborina po fazama rasta i razvoja". To je opravdano kada se uzme u obzir posebnost pojedinih sorti jabuke (različita podlogama, uzgojni oblik, dužina vegetacije, tlo i klimatski uvjeti). Navedeno potvrđuje Laptev (cit. Vučić, 1976.) koji je utvrdio transpiracijski koeficijent različitog voća od 125 do čak 1000 l. Nedostatak vode

na početku vegetacijskog razdoblja utječe negativno na porast biljaka: lisna površina se slabije razvija, cvatnja je manjeg intenziteta i opadaju mladi plodovi. Nedostatak vode u drugoj polovini vegetacije prvenstveno utječe na prijevremeno sazrijevanje i opadanje plodova, poremećaj fotosinteze, smanjenje rezerve u biljkama. Evidentirane su velike razlike između sorti jabuka, a jabuka prema drugom voću ima najveće potrebe za vodom. Nedostatak vode u tlu rezultira uzimanjem vode iz plodova i jednogodišnjih izboja za potrebe fotosinteze lista. Nedovoljna opskrba jabuke vodom osim na plodove i uroda smanjuje i prirast stabla. Nedovoljna količina vode u tlu smanjuje koncentraciju klorofila u listu jabuke i aktivnost fermenata. Korjenov sustav jabuke u uvjetima bez navodnjavanja raste u proljeće i u jesen.

Preobilno navodnjavanje jabuke u ljeto pogoršava prozračnost tla. Održavanje povoljnog sadržaja vode u tlu utječe na ujednačen porast korijena i stabla. Istraživanjima je utvrđeno da je dužina osnovnog korijena kod navodnjavane jabuke starosti 3 do 6 godina bila veća za 2,1 puta od nenavodnjavane, a kao i tempo porasta korijena horizontelno i vertikalno (Vučić, 1976.). Rogers je utvrdio manji porast korijena pri povećanoj vlažnosti tla (približno 0.4 do 0.5 kPa). Navedeno ukazuje da je jabuka zahtjevna na sadržaj vode u tlu jer kontinuirano održavanje visoke vlažnosti tla rezultira ne srazmjernim razvojem korijena i stabla. Navedeno u bogatijem rodu jabuke može rezultirati naginjanjem ili čupanjem stabala pri većoj vlažnosti tla i jačeg vjetra, posebice na „lakšim" tlima. Povoljan vodni režim u tlu povoljno utječe na kakvoću plodova jabuke. Uriu i Magness (cit. Vučić, 1976.) su utvrdili da navodnjavane jabuke daju plodove sa manje suhe tvari i većim sadržajem vode. Szekely je utvrdio da su plodovi navodnjavane jabuke bili krupniji za 17% i bolje obojeni, ali neki autori ukazuju da su plodovi obilnije navodnjavanih jabuka osjetljiviji na čuvanje u skladištu.

3.6. Obrok navodnjavanja i trenutak početka navodnjavanja

Uspješnost navodnjavanja neke kulture prvenstveno zavisi od dinamike sadržaja vode u tlu, jer u dovoljnoj količini vode korijen usvaja elemente potrebne za rast i razvoj biljke. Osnova za to je određivanje optimalnog vremena navodnjavanja i pouzdano mjerenje sadržaja vode u tlu. Najbolji urodi pri uzgoju istraživanih kultura su postignuti kada je sadržaj vode u tlu održavan u rasponu od 80% do 100% PVK kod krumpira i jabuke, a 60% do 100% PVK kod sjemenskog kukuruza. Tijekom vegetacije je potrebno smanjiti sadržaj vode u tlu na 60% do 70% PVK. Temeljem vodnih svojstava (Tablica 4), krumpir i jabuku treba početi navodnjavati kada sadržaj vode u tlu bude 80% PVK, a sjemenski kukuruz 60% PVK. Osim sadržaja vode u tlu, trebamo znati dubinu korijena. Primjer obroka navodnjavanja računa se:

Primjer 1: Izračun obroka navodnjavanja za krumpir, Kožićeva njiva, faza razvoja korijena do 30 cm. Planiran je minimalni sadržaj vode u tlu pri 80% vrijednosti PVK.

O = obrok navodnjavanja, mm; d = planirana dubina vlaženja tla je 30 cm; a = specifična masa tla, volumna, 1,35 g cm^3; PVK = 28,44% masenih; Tv = trenutni sadržaj vode u tlu (80% PVK), masenih = 22,75% masenih.

Na temelju vodnih svojstava, planiranog sadržaja vode u tlu 80%-100% PVK i dubine korijena 30 cm, na Kožićevoj njivi treba navodnjavati obrokom 23 mm (uvećan za 10% = 25 mm). Obrok navodnjavanja za nasad jabuka u voćnjaku treba navodnjavati obrokom

30 mm (uvećan 10% = 33 mm). Pri razvijenom korjenu kukuruza, izračunati obrok je 38,2 mm (uvećanom 10% = 42,2 mm).

Navodnjavanje krumpira treba završiti kada počinje žućenje i odumiranje donjeg lišća, te kada je pokožica mlađih gomolja postala tvrda i ne može se guliti prstom. Završetak navodnjavanja jabuke treba uslijediti oko 20 do 25 dana pred berbu. To treba proučiti za svaku sortu i uvažiti specifičnosti. Kada su u pitanju kasne sorte, u našem klimatu se obično prestaje navodnjavati početkom rujna, a u sušnim godinama se treba orjentirati na sadržaj vode u tlu. Završetak navodnjavanja sjemenskog kukuruza je specifičan jer se uslijed povećanja temperature zraka i pri navodnjavanju u punoj zriobi, može izazvati proklijavanje zrna na klipu. Kraj mliječne i početak voštane zriobe je pozudan trenutak za prestanak navodnjavanja sjemenskog kukuruza. Optimalni trenutak berbe sjemenskog kukuruza je pri sadržaju vode u zrnu od 28% do 30% (treba ga ubrati prije jesenskih mrazeva).

Višegodišnji prosjek 1971. - 2000. godina														
mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-IX	prosjek
temperatura ^{0}C	-0,2	1,8	6,4	11,2	16,7	19,6	21,3	20,8	16,5	11,1	5,1	1,3	17,7	11,0
toplinski indeksi (i)	0	0,21	1,45	3,39	6,21	7,91	8,97	8,66	6,09	3,34	1,03	0,13		47,39
potenc. evapotr. (mm)	0	3,9	24,1	52,9	98,2	121,3	135,2	122,4	79,9	44,1	14,4	2,4	609,9	698,75
oborine (mm)	41,6	34,5	40,5	51,0	59,2	82,0	66,3	61,9	51,0	55,9	61,5	48,8	371,3	654,1
oborine - PET (mm)	41,6	30,65	16,4	-1,9	-39	-39,3	-68,9	-60,5	-28,9	11,8	47,1	46,4		-44,5
rezerva (mm)	100	100	100	98,1	59,1	19,8	0	0	0	11,8	58,9	100		
stvarna evapotr. (mm)	0	3,85	24,1	52,9	98,2	121,3	86,1	61,9	51,0	44,1	14,4	2,4	471,4	560,25
manjak vode (mm)	0	0	0	0	0	0	49,1	60,5	28,9	0	0	0	138,5	138,5
višak vode (mm)	41,6	30,65	16,4	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3		93,95

Tablica 5. Bilanca vode u tlu za višegodišnji prosjek (1971. - 2000. godina), za područje Osijeka

Bilanca vode u 2008/2009. godini														
mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Veget.	Godina
temperatura ^{0}C	-1,4	1,7	6,9	14,6	19,0	19,7	23,6	23,5	19,6	13,6	7,5	3,8	20,0	13,10
toplinski indeksi (i)	0	0,35	1,29	3,48	5,49	8,03	9,49	9,04	5,71	2,73	1,32	0,27	41,2	47,2
pot. evapotr. - ETP (mm)	0	3,4	26,8	59,6	104,0	124,6	146,4	132,6	86,3	50,3	26,4	13,5	653,5	773,9
oborine (mm)	57,2	35,4	22,1	15,7	45,5	73,9	31,0	61,9	2,8	38,2	48,6	47,5	230,8	563,6
oborine - PET (mm)	57,2	32,0	-4,8	-43,9	-35,1	-50,7	-115,4	-70,7	-83,5	-12,1	22,2	34,0	-422,7	-634,4
rezerva vode (mm)	100	100	95,2	51,3	16,2	0	0	0	0	0	22,2	56,2		
stvarna evapotr. (mm)	0	3,4	26,8	59,6	104,0	90,1	31,0	61,9	2,8	38,2	26,4	13,5	349,4	457,7
manjak vode (mm)	0	0	0	0	0	34,5	115,4	70,7	83,5	12,1	0	0	304,1	316,2
višak vode (mm)	13,4	32,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,4

Tablica 6. Bilanca vode u tlu za godinu istraživanja (2008/2009. g), za područje Osijeka

ZAKLJUČAK

Sadržaj lako pristupačne vode do 20 cm na pjeskovitoj ilovači iznosio je 18,2 l, a 25,5 l na praškasto glinovitoj ilovači. Sadržaj pristupačne vode (PV) do 20 cm iznosio je 30,3 l na pjeskovitoj ilovači, a 42,4 litre na praškasto glinovitoj ilovači. Za svaki centimetar dubine tla na pjeskovitoj ilovači, za navodnjavanje treba osigurati 0,9 litara LPV za 1 m^2, a 1,5 litara PV, dok je za 20 cm na praškasto glinovitoj ilovači trebalo osigurati 1,3 litara LPV odnosno 2,1 litara PV. Navedene vrijednosti treba preračunati na dubinu korijena i rezultat je obrok navodnjavanja koji treba uvećati za gubitke. Navodnjavanje na temelju vodnih svojstva tla, dubine korijena i potreba kultura za vodom treba biti osnova održivog navodnjavanja.

LITERATURA

[1] Josipović, M. (1996): Utjecaj obroka i dubine natapanja dreniranog tla na svojstva kukuruza, Sveučilište J. J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, disertacija, 119.

[2] Josipović M., Kovačević V., Petošić D. and Šoštarić J. (2005): Wheat and maize yield variations in the Brod-Posavina area, Cereal Res. Comm., 33 (1), 229-233.

[3] Kovacevic V., Sostaric J., Josipovic., Iljkic D., Markovic M. (2009): Precipitation and temperatrure regime impacts on maize yields in eastern Croatia, Resea. Jour. of Agricultural Scien., 41 (1), 49-53.

[4] Kovačević, V., Josipović, M., Kaučić, D., Iljkić, D. (2010): Weather impacts on yields of maize, sugar beet, soybeans and sunflower, Proceedings of 45th Croatian and 5th International Symposium of Agriculture, Opatija, Croatia, (ed) Marić, S. and Lončarić, Z., Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J.J Strosmayera u Osijeku, 796-800.

[5] Mađar, S.; Kovačević, V.; Mušac, I.; Jurić, I.; Žugec, I. (1985): Rezultati istraživanja s postrnom sjetvom u Slavoniji i Baranji 1984. godine, Znan. prak. poljopr. tehnolog., 15, 3-4, Osijek.

[6] Miljković, I. (1984): Bonitiranje zemljišta kulture voćnjaka, Poseban otisak, Agronomski glasnik, 6/ 84, 881-919.

[7] Plavšić H., Josipović M., Andrić L., Jambrović A., Šoštarić J. (2007): Influences of irrigation and fertilization on maize (Zea mays L.), VI. Alps-Adria Scient. Workshop Obervellach, Austria, 933-936.

[8] Tomić, F.; Marinčić, I. (1987): Potrebe i mogućnosti primjene natapanja u Republici Hrvatskoj, Poljoprivredne aktualnosti, , Zagreb, 1-2, 237-243.

[9] Vučić, N. (1976): Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Sveučilište u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad. 432.

[10] Škorić, A. (1961): Pedološka istraživanja, priručnik, Zadružna štampa, 55.

AUTORI

dr.sc. Marko Josipović[a]
prof.dr.sc. Jasna Šoštarić[b]
mr.sc. Hrvoje Plavšić[a],
prof.dr.sc. Josip Marušić[d]
Monika Marković[b]
Željko Kraljičak[c], dipl.ing.polj.

[a] Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, Osijek 31103, Hrvatska, marko.josipovic@poljinos.hr

[b] Sveučilište J.J. Strossmayer, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Trg Sv. Trojstva, Osijek 31000,

[c] Županija Osječko-baranjska, Trg A. Starčevića 2, Osijek 31000

[d] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb 10000.

R 2.16.

TEHNO-ECONOMIC ASPECTS OF CONSTRUCTION OF REGIONAL IRRIGATION SYSTEMS

Svetlana Potkonjak, Mile Bozic, Marko Bajcetic, Biljana Bosnjak

SUMMARY: As Serbia has determined for long-term solving of problems caused by drought, the majority of research is conducted within the scope of planning and design of projects for the construction of **R**egional **I**rrigation **S**ystems (**RIS**). Methodology using modern methodological procedures and techniques was developed and applied to several regional systems. On the example of regional systems "Macva", "Kljuc" and "Grocka", only a few techno-economic indicators are presented, obtained through the application of this methodology (investment in construction, costs of exploitation, effectiveness of the investments). The presented regional systems covers area from 5,000-11,000 ha. The investments for water infrastructure amount to 1,821 - 3,222 €/ha. The price of water at water intake amounts to 8.8-12.1 euro cents. With all the presented regional systems, the appropriate economic effects (positive Neto Present Value and significantly increased index of profit) could be expected. The systems require the employment of new personnel to perform maintainance and management work. The planned construction period is from 2 to 4 years. The financial resources for the construction of this type of system were similar (National and Provincial budget, Public Water Management Company, municipalities, credits – domestic and foreign). The implementation of some of these systems has started. In order to speed up the construction work, the other forms of financing (concessions, and other models of privatization) are proposed.

KEYWORDS: Regional systems, methodology, planning, design, analysis

TEHNIČKO-GOSPODARSKI ASPEKTI GRAĐENJA REGIONALNIH SUSTAVA NAVODNJAVANJA

SAŽETAK: U cilju dugoročnog rješenja problema prouzročenih sušom, glavnina istraživanja u Srbiji provodi se u opsegu planiranja i projektiranja projekata izgradnje regionalnih sustava navodnjavanja. Metodologija koja koristi moderne postupke i tehnike razvijena je i primijenjena na nekoliko regionalnih sustava. Na primjeru regionalnih sustava "Mačva", "Ključ" i "Grocka" prikazano je nekoliko tehničko-gospodarskih pokazatelja koji su dobiveni primjenom ove metodologije (investicije u izgradnju, troškovi rada, učinkovitost investicija). Prikazani regionalni sustavi obuhvaćaju područje od 5000-11000 ha. Investicije u vodnu infrastrukturu iznose od 1821 - 3222 €/ha. Cijena

vode na vodozahvatu iznosi 8,8-12,1 centi €. Na svim prikazanim regionalnim sustavima mogu se očekivati odgovarajući gospodarski učinci (pozitivna neto sadašnja vrijednost i značajni porast indeksa profita). Sustavi zahtijevaju zapošljavanje novog osoblja za izvođenje radova na održavanju i upravljanju. Planirano razdoblje građenja iznosi od 2 do 4 godine. Financijski resursi za izgradnju ove vrste sustava bili su slični (državni i pokrajinski proračun, javne komunalne tvrtke, općine, zajmovi – domaći i strani). Implementacija nekih od ovih sustava je započela. Kako bi se ubrzalo građenje, predloženi su i drugi oblici financiranja (koncesije i ostali modeli privatizacije).

KLJUČNE RIJEČI: regionalni sustavi, metodologija, planiranje, projektiranje, analiza

1. INTRODUCTION

Irrigation with modern plant-growing techniques allows the productive use of potential areas with precipitation deficit and reduces the fluctuation in the production caused by drought. Climate changes that increase the global warming have an impact on available water resources and the need for irrigation water (Potkonjak, 2005).

There are many reasons why certain countries decide to construct regional irrigation systems. The reasons for solving hydro-meliorative problems in our country in such a way are the following:

Protection from the impacts of drought

At the area of our country for long time periods variation and total precipitation quantity is expressed. Therefore, the damage that occurs in agriculture is connected to a reduction of yield and consequently, to a lower revenue. The average value of moisture deficit ranges from 100-200 mm, and rarely over 300 mm. According to the data available for the Autonomous Province of Voivodina for a 100 year period, there were 17 years with normal precipitation, 32 years with a precipitation surplus and 51 years with a precipitation deficit (Salvai,2010). If this trend were to continue, it would entail a maximal use of regional irrigation systems during years of drought. Particular, if in chosen structure of agricultural production there are crops with the highest precipitation deficit, the impact of drought would be more expressed.

Increase in agricultural production

Increase of production value of irrigation is also one of the contributions. They are linked to primary agricultural production as well as the food industry, which is growing as a result of irrigation. An increase in primary production of at least two fold or more is possible (Potkonjak,2010).

Increase of goods for transport, export and consumption

The development of transport capacity and trade of goods depends on an increased volume of primary agricultural production. It would be possible to increase the export quotas for some products (fruit, vegetables). The development of irrigation ensures better and various supply of domestic market.

Increase in employment

Irrigation contributes to an increase of employment opportunities, particularly in agriculture, the food industry and water exploitation. Personnel should have higher qualifications in terms of education, with the aim of achieving a higher level of production, as well as a modernisation of production.

Impacts on rural development

As the greatest part of potentially irrigated land belongs to rural areas, this would be a way to further develop these areas. In this case, the comparative advantages of the area should be taken into account when projections of the production structure are made.

Environmental impacts

The provided solution for a hydro-meliorative regional system should be adapted to the natural characteristics of the area and need to protect the environmental and cultural resources of the area.

Bearing this in mind, significant areas under regional hydro systems are planned for the future construction. According to available data (Potkonjak, 2010), the potential irrigation area in the Republic of Serbia is over 1,200,000 ha including the potential area of Hydro System Donau-Tisa-Donau.

2. METHODOLOGY FOR REGIONAL IRRIGATION SYSTEM PLANNING

Development of the regional irrigation system planning involves an interdisciplinary approach to several scientific disciplines including: law, economics, engineering, management, ecology and political sciences. The methodology for planning and project design of the regional irrigation systems was developed in the Institute "Jaroslav Cerni", Department for hydro-melioration in Belgrade. Also, one part of the methodology which applies to economic aspects of planning and design was developed in the Faculty of Agriculture, Department for agricultural economics. This methodology has been applied to several systems in Serbia (e.g. regional system"Macva", regional system"Kljuc", regional system"Grocka"). Figure 1 shows an algorithm of important phases during the planning and design of regional irrigation systems which are part of the elaborated methodology. With regard to the comprehensiveness of this methodology, in this investigations showed only a few of the results obtained as part of the economic planning and design related to the mentioned regional systems in Serbia.

3. FINANCIAL ANALYSIS

Financial analysis of this type of project requires calculation of the following indicators: total investment, total operative costs and revenues, financial return on investment , financial resources, financial viability of the project and financial return on national capital . In our case, several indicators are given for three regional irrigation systems in Serbia.

The amount of investment needed for the construction of regional systems depends on many factors and is a function of the system dimensions, and technical equipment level. The financial resources needed for the construction of these systems consist of joint ventures and specific investment. In most cases, joint ventures in our country are used for the construction of main and primary channels, accumulations, objects and the primary pumping station, and resources for the construction of local irrigation systems on individual farms are obtained through specific investments. The structure of investment for these systems is a result of optimal solutions which are obtained after extensive research.

In this case, analyses were conducted on three regional systems in the water district of Serbia, including:

a) Regional System “Grocka” : Potential irrigated area of about 5,025 ha.The proposed irrigation methods are sprinkle and drip.The river Donau is water source for irrigation.
b) Regional System “Macva”, subsystem CSN6 : Potential irrigated area of about 10,294 ha.The proposed irrigation method are sprinkle and drip.The rivers Drina and Sava are water sources for irrigation.
c) Regional System “Kljuc” : Potential irrigated area of about 10,915 ha.The proposed irrigation methods are sprinkle and drip.The river Donau and ground water are sources for irrigation.

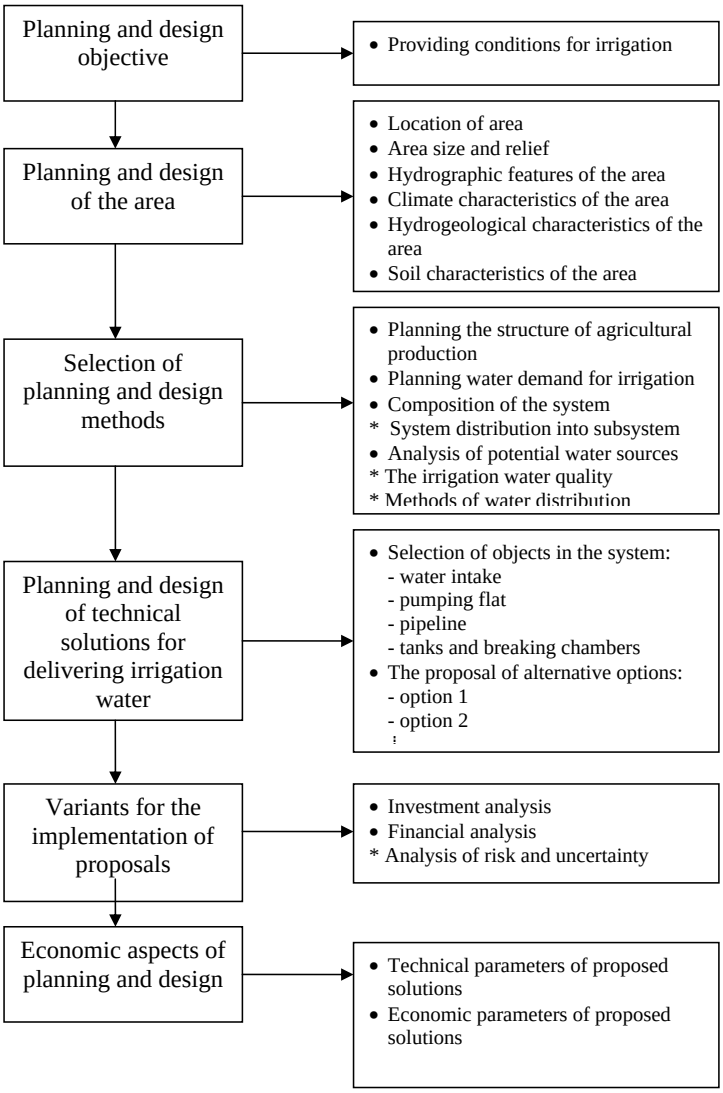


Figure 1. Flowchart for planning and design of regional irrigation systems

According to the suggested project solutions, the technical structure of investment needed for the construction of these systems is given in table 1.

As can be observed,, the subsystem CSN6 has the lowest investment and RS"Grocka" the highest, which are affected by the size of the system, as well as by the proposed technical solution which is a function of: location and kind of water intake, arrangement of main objects and type of suggested irrigation equipment (sprinkler or drip). A unit investment for the construction of a regional system (€/ha) can be one of the most important indicators in determining the priorities for the construction of a system.

No.	Items	Regional system "Grocka"	Regional system "Macva", subsystem CSN6	Regional system "Kljuc"
1	Construction works and buildings	6,016,412	5,328,369.28	6,216,917.46
2	Equipment	9,960,201	13,429,506.15	20,992,260.47
3	Research and design (project,supervision of work and so on)	52,500	937,893.77	2,647,503.24
4	**Working capital**	196,958	196,957.69	298,566.49
5	**Total (1-4)**	16,226,071	19,892,726.89	30,155,247.66
	System area (ha)	5,025	10,924	10,915
	Unit investment (€/ha)	3,222	1,821	2,762

Table 1. Technical structure of investment for the construction of regional systems

After construction, the costs of functioning need to be determined for the regional systems. These costs are a function of the technical solution as well as of the management method. In this case, these are: the water cost price, the market price and the economic price. For the analysed regional systems in table 2, the water cost price is given as a sum of fixed and variable costs. Fixed costs are costs that do not change,whatever the level of output is (such as amortization,maintenance,insurance,interest,fixed salaries).Variable costs do change as the level of output changes (such as energy,current maintenance,salary for seasonal workers).

The lowest water price per unit was calculated for regional system"Kljuc", at 0.088 €/m3, and the highest at the regional subsystem CSN6, at 0,121 €/m3. The cost of exploitation per unit is also a significant indicator in determining the priorities for the construction of a system. The market price of water in this case would depend on several factors such as: the agricultural policy of the country during the implementation of the project, conditions for the realisation of agricultural production, credit policy,monetary and fiscal policy, economic status of the regional system, etc. The market price in this case cannot be lower than the cost price. Depending on the management method and the ownership rights to the system, it would also be possible to consider the economic price for the irrigation water. This price should allow the owner of the system to cover the cost price and provide a long-term cash accumulation during the operation of the system.

Table 3 shows some indicators from the financial analysis, which are related to the economic evaluation of the construction efficiency. There are also indicators that can contribute to more efficient decision making regarding the implementation of individual technical solutions as well as of the choice of potential options for the construction, such as: the number of new employees and the period of the system construction (years).

No.	Items	Regional system"Grocka"	Regional subsystem "Macva"	Regional system "Kljuc"
I	Fixed costs	658,579	1742882.16	1,442,520.62
II	Variable costs	1,013,119	2427702.71	1,387,033.48
III	Total costs	1,671,698	4170584.87	2,829,554.1
	Area of the system (ha)	5,025	10924	10,915
	Water costs at water intake (€/ha)	333	381.78	259.23
	Planned annual consumption m^3	17,838,750	34,400,000	31,857,037
	Cost price (€/m3)	0.093	0.121	0.088

Table 2. The cost of exploitation of the regional systems (in euros)

No.	Items	Regional system"Grocka"	Regional subsystem "Macva"	Regional system"Kljuc"
1	Net Present Value, €	33,814,219	19,527,284.49	1,648,297.681
2	Internal rate of return, %	13.79	17.18	3.61
3	Index of total revenue increase	1.77	2.10	3.90
4	Index of profit increase	3.87	4.24	5.95
5	Number of new employees	12	30	91
6	Length of the construction period, years	2	4	4

Table 3. Effects of the construction of regional systems

Financing the construction of the regional irrigation systems in present conditions is possible from different financial sources. The potential financial sources for all three analysed systems are presented in Table 4.

No.	Financial sources	Regional system"Grocka"	Regional subsystem"Mačva"	Regional system"Ključ"
1	National budget	*	*	*
2	Public Water Management Company "Srbijavode"	*	*	*
3	Municipalities	*	*	*
4	Farmers	*	*	*
5	Credit	*	*	*
6	Foreign donations	*		

Table 4. Potential financial sources for the construction of regional systems

In recent years, research was conducted in order to select an appropriate model of public-private partnership. The engagement of the private sector in the water exploitation can be implemented according to models (Bajcetic, 2010):

- Inference of agreement with water management company,
- Inference of agreement for providing services,
- Abandonment of facilities and installations,

- Concessions (Build-Own-Operate-Ttransfer, Build-Own-Operate, Design-Build-Finance-Operate, Buy-Build-Operate),
- Other models of privatization.

In any case, one of these models would be appropriate for financing regional systems.

In investigations (Khan and Mushtaq,2009) is showed **R**egional **I**rrigation **B**usiness Partnership (**RIBP**) model that includes irrigators, regional industry, water suppliers and other **P**artners. This model is applicated in the Coleambally Irrigation Area in New South Wales,Australia.

CONCLUSION

The research on this issue has shown that the problem of drought, especially over a longer period, can be successfully solved by irrigation. Therefore, preference is given to the construction of regional systems which transport and distribute water to a distance from rivers and accumulations.

Planning the construction of regional irrigation systems requires an interdisciplinary approach to several scientific disciplines, such as: law, economics, engineering, management, ecology and political sciences.

Before planning the actual approach to the construction of regional systems, a process should be developed that would include and define all relevant parameters, as in this case.

A number of technical solutions should be proposed, based on what will be greater possibility of choice. In our case, alternative solutions are given, and the best option for implementation is proposed.

Economic aspects of the potential solutions have to be completed with parameters, which are obtained through the cost-benefit analysis. The economic parameters are relevant indicators for final decision making by the selection of optimal variant of the construction.

The suggested procedure should be completed by ranking the best projects, as well as the best practises within a single project. Also, it is necessary to improve the methodology for the selection of optimal solutions at the project level, including criteria of quality in the optimisation (e.g. employment, environment, cross-border cooperation).

Acknowledgements

The work was undertaken as a part of the project no. 46006: **"SUSTAINABLE AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT IN THE FUNCTION OF ACCOMPLISHING STRATEGIC OBJECTIVES OF THE REPUBLIC OF SERBIA IN THE DANUBE REGION ".** It has been funded partially by the Ministry of Science, Technology and Development, Goverment of Serbia.

REFERENCES

[1] Bajčetić,M, (2008) : *Ekonomija vodoprivrede*.Prometej,Novi Sad,194.

[2] Bajčetić,M,(2010):*Sistem vrednosti vodoprivrede*.Prometej,Novi Sad,390.

[3] Božić,M,at all. (2004): *Studija opravdanosti sa idejnim projektom navodnjavanja složenog podsistema CSN6 regionalnog hidrosistema snabdevanja vodom Mačve".* Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi",Beograd,180.

[4] Božić,M, at all. (2006):*Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom sistema za navodnjabanje "Ključ".* Institut za vodoprivredu"Jaroslav Černi",Beograd,.

[5] Božić,M, at all.(2008):*Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom obezbedjenja vodom poljoprivrede na delu teritorija opština Grocka i Smederevo*. Institut za vodoprivredu"Jaroslav Černi",Beograd,219.

[6] Khan,Sh,Mushtaq,Sh,(2009):*Regional Parnerships to assist public-private investments in irrigation systems.*Agricultural Water Management,96,839-846.

[7] Potkonjak,S, Škorić, M, Zoranović, T,(2005) : *Uloga melioracionih sistema u multifunkcionalnom razvoju poljoprivrede*. Tematski zbornik sa medjunarodnog naučnog skupa « Multifunkcionalna poljoprivrede i ruralni razvoj» , (Cvijanović,D.) Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, strana 268-276.

[8] Potkonjak,S,Bajčetić,R,Škorić,M,(2008): *Pristup planiranju razvoja regionalnih hidrosistema.* Agroekonomika,vol. 39-40,broj 39-40,str. 38-45.

[9] Potkonjak,S,Zoranović,T,Mačkić,K,(2009): The irrigation influence on agricultural intensification in Serbia.International scientific meeting :Multifunctional agriculture and rural development (V)-regional specificities.Economic of agriculture,special issue-2,page 264-270.

[10] Salvai,A,(2010): Part of the project :WP:4*Drought Risk Assessment*.DMCSEE,EU, page 24.

AUTHORS

Prof. PhD Svetlana Potkonjak [a]
MSc Mile Bozic [b]
PhD Marko Bajcetic [c]
BSc. Econ. Biljana Bosnjak [d]

[a] The Faculty of Agriculture, Dositeja Obradovica Square 8, Novi Sad, 21000, Serbia, *spot@polj.uns.ac.rs*

[b] Institute for water management "Jaroslav Cerni", Jaroslava Cernog 80, Belgrade, 11233, Serbia, *Mile.Bozic@jcerni.co.rs*

[c] Public Water Management Company "Vode Vojvodine", Mihajla Pupina Bulevar 25 , Novi Sad , 21000, Serbia, *mbajcetic@vodevojvodine.com*

[d] The Faculty of Agriculture, Dositeja Obradovica Squere 8, Novi Sad, 21000, Serbia, *bosnjakbiljana@yahoo.com*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.17.

TEHNIČKI ASPEKTI STUDIJA IZVEDIVOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA

Marijan Babić, Marinko Galiot, Danko Holjević, Josip Juračak, Enes Obarčanin

SAŽETAK: U sklopu realizacije Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj tijekom 2009-2010 godine razmatrana je mogućnost financiranja izgradnje sustava navodnjavanja kroz potencijalni zajam Svjetske banke. Realizacija kredita bila bi predviđena je kroz dvije komponente: (1) investicije u infrastrukturu navodnjavanja i (2) institucionalno jačanje i tehnička pomoć. Za potrebe pripreme realizacije kredita izrađene su studije izvedivosti za šest projekata navodnjavanja predloženih za prvu fazu realizacije. U radu je dan pregled sadržaja studija izvedivosti za pojedine projekte koji obuhvaća tehničku i financijsko – ekonomsku analizu. Poseban naglasak u radu dan je na rezultate tehničke analize i optimalizacije projekata u odnosu na rješenje iz prethodno izrađene projektne dokumentacije.

KLJUČNE RIJEČI: svjetska banka, studije izvedivosti, sustavi navodnjavanja, tehnička optimalizacija, financijsko-ekonomske analize

SUMMARY: As a part of the implementation of the National Project of Irrigation and Management of Agricultural Lands and Waters of the Republic of Croatia during 2009-2010 a possibility of financing of construction of irrigation systems through a potential loan from the World Bank was being considered. This project would be comprised of two components: (1) investments into irrigation infrastructure and (2) institutional strengthening and technical assistance. For preparations for the loan, feasibility studies were developed for six subprojects that were recommended for the first phase of implementation. In this paper a summary of the feasibility studies for these subprojects that includes both technical and financial-economic analyses is presented. Particular emphasis in the paper is given to the results of technical analysis and project optimization relative to the solution from previously developed project documentation.

KEY WORDS: world bank, feasibility studies, irrigation systems, technical optimization, financial-economic analyses

1. UVOD

Republika Hrvatska, putem Ministarstva financija i Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, razmatrala je mogućnost financiranja izgradnje sustava navodnjavanja kroz potencijalni zajam Svjetske banke. U tu svrhu formuliran je Projekt razvoja navodnjavanja, koji je pripremala Jedinica za provedbu Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama unutar Hrvatskih voda. Ovaj projekt se sastojao od dvije komponente: (1) izgradnja infrastrukture navodnjavanja i odvodnje i (2) institucionalno jačanje i tehnička pomoć. Nažalost, eskalacijom negativnih ekonomskih trendova, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj, priprema projekta je zaustavljena do daljnjega. U duhu mjera gospodarskog oporavka Vlada Republike Hrvatske trebala bi utvrditi prioritetne projekte koji bi se financirali iz portfelja Svjetske banke.

Unutar komponente (1) financirala bi se izgradnja pod-projekata - sustava navodnjavanja (SN) koji su grupirani u faze, ovisno o stupnju izrade projektne dokumentacije i statusu potrebnih dozvola. Za prvu fazu inicijalno je razmatrano šest pod-projekata: SN Kapinci-Vaška u Virovitičko-podravskoj županiji (1280 ha), SN Orubica u Brodsko-posavskoj županiji (437 ha), SN Baranja u Osječko-baranjskoj županiji (5000 ha), SN Poljoprivredno-šumarska škola Vinkovci u Vukovarsko-srijemskoj županiji (52 ha), SN Pavlomir u Primorsko-goranskoj županiji (44 ha) i SN Kaptol u Požeško-slavonskoj županiji (170 ha).

Za ove pod-projekte bilo je potrebno izraditi studije izvedivosti, koje se sastoje od dva osnovna dijela. U tehničkom dijelu su se na temelju pregleda postojeće projektne dokumentacije i nezavisnih analiza razmatrala potencijalna alternativna rješenja u odnosu na projektom razrađeno rješenje, identificirale mogućnosti izmjene projektom razrađenog rješenja u svrhu povećanja ekonomičnosti projekta, i konačno dala ocjena tehničke izvedivosti predloženog i/ili modificiranog rješenja. U ovom dijelu su također pregledane projektantske procjene troškova investicije i predložene modifikacije istih na temelju usklađenih jediničnih cijena za sve pod-projekte, koje su izvedene na temelju postojećih ugovora o izgradnji sličnih sustava navodnjavanja. U financijsko-ekonomskom dijelu bilo je potrebno provesti nove analize strukture sjetve, uključujući dinamički razvoj uvođenja navodnjavanja i procjenu konačnog omjera površina unutar obuhvata sustava koje će se u određenoj godini navodnjavati, odrediti koristi od uvođenja navodnjavanja za svaku pojedinu kulturu, te provesti rigorozne analize financijske i ekonomske izvedivosti po standardima međunarodnih financijskih institucija.

2. RAZMATRANI SUSTAVI NAVODNJAVANJA

Za prvu fazu Projekta razvoja navodnjavanja inicijalno je razmatrano šest pod-projekata, za koje su izrađene studije izvedivosti. Osnovne karakteristike ovih sustava i stupanj gotovosti projektne dokumentacje koja je predstavljala podlogu za izradu studija izvedivosti su kako slijedi:

SN Kapinci-Vaška – Virovitičko-podravska županija– 1,280 ha

Ovaj sustav bi omogućio navodnjavanje površina na kojima se trenutno uzgajaju pretežno ratarske i industrijske kulture bez navodnjavanja preko tlačnog sustava s izvorom vode

iz obližnje rijeke Drave. Sustav je projektiran za visokotlačnu opremu za navodnjavanje (tifone) sa tlakovima od 5,5 bara na hidrantima. Projektirani sustav se sastoji od (1) vodozahvata i crpne stanice na rijeci Dravi s projektnim protokom od 900 l/s i visinom dizanja od 82 m, (2) sustava tlačnih cjevovoda s hidrantima ukupne duljine oko 39 km i (3) cestovne mreže i sekundarnih objekata. Idejni i glavni projekti su bili dovršeni, a lokacijska i građevinska dozvola ishođene.

SN Orubica – Brodsko-posavska županija – 437 ha

Ovaj sustav bi omogućio navodnjavanje površina na kojima se trenutno uzgajaju pretežno ratarske i industrijske kulture bez navodnjavanja ali i povrtlarske kulture s navodnjavanjem iz zdenaca na manjim površinama preko tlačnog sustava s izvorom vode iz obližnje rijeke Save.

Projektirani sustav se sastoji od (1) vodozahvata i crpne stanice na rijeci Savi kapaciteta 200 l/s (uključujući niskotlačnu crpnu stanicu s visinom dizanja od 13 m, bazen zapremine 1000 m3, i visokotlačnu crpnu stanicu s visinom dizanja od 65 m) i (2) sustava tlačnih cjevovoda s hidrantima ukupne duljine oko 18 km. Idejni projekti su bili dovršeni, lokacijska dozvola ishođena.

SN Baranja – Osječko-baranjska županija– 5000 ha

Ovaj sustav bi se temeljio na dovodu vode iz rijeke Dunav putem lateralnog kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac duljine 12,3 km s reverzibilnom crpnom stanicom Zmajevac kapaciteta 5 m^3/s. Navodnjavanje bi se vršilo iz sustava postojećih melioracijskih kanala koji pokrivaju cijelo predmetno područje, ali ih je u svrhu navodnjavanja potrebno rehabilitirati i opremiti dodatnim objektima kojima bi se regulirale razine vode u sustavu. Idejni i glavni projekti sustava za dovod vode (lateralnog kanala i crpne stanice), koji bi predstavljao prvu fazu izgradnje, su bili dovršeni a lokacijska i građevinska dozvola ishođene, a izrada idejnog projekta sustava za navodnjavanje (rehabilitacije i dogradnje kanalske mreže), koji bi predstavljao drugu fazu izgradnje, je bila u tijeku paralelno s izradom studije izvedivosti.

SN Poljoprivredno šumarske škole Vinkovci – Vukovarsko-srijemska županija - 52 ha

Ovaj manji sustav navodnjavanja bi osim komercijalne komponente omogućio i nastavno-istraživačke aktivnosti vezane na primjenu raznih metoda navodnjavanja. Projektirani sustav bi se sastojao od (1) vodozahvata i crpne stanice na rijeci Bosut kapaciteta 75 l/s i visine dizanja 50 m, (2) sustava tlačnih cjevovoda ukupne duljine 2,3 km, (3) sustava cijevne drenaže i (4) opreme za navodnjavanje s upravljačkim i kontrolnim sustavom. Idejni i glavni projekti su bili dovršeni a lokacijska i građevinska dozvola ishođene.

SN Pavlomir – Primorsko-goranska županija - 44 ha

Ovaj manji sustav navodnjavanja bi predstavljao dogradnju postojećeg sustava koji se koristi za navodnjavanje vinove loze. Sustav bi se sastojao od (1) rehabilitacje i dogradnje akumulacije za prikupljanje vode iz lokalnih povremenih vodotoka, (2) izgradnje crpne stanice kapaciteta 40 l/s i sustava tlačnih cjevovoda s hidrantima ukupne duljine 4,4 km, (3) izgradnje podzemne cijevne drenaže, (4) rehabilitacije sustava melioracijskih kanala, i

(5) izgradnje sustava poljskih puteva. Idejni i glavni projekti su bili dovršeni ali lokacijska dozvola nije bila ishođena te je po ishođenju lokacijske dozvole potrebno s njom uskladiti glavni projekt i ishoditi građevinsku dozvolu odnosno potvrdu glavnog projekta.

SN Kaptol – Požeško-slavonska županija - 170 ha

Ovaj sustav navodnjavanja bi omogućio uvođenje navodnjavanja na područjima OPG Humski i Zadruge vinogradara, voćara i vinara Musil, s izvorom vode iz postojeće akumulacije „Bistra" ukupnog korisnog volumena 64,000 m^3. Zbog ograničene količine vode u prvoj fazi bi se mogao navodnjavati samo dio površina, a nakon eventualne izgradnje dodatne akumulacije u slivu korisnog volumena 200.000 m^3, bi se mogle zadovoljiti potrebe za sve površine u drugoj fazi. Ovaj sustav bi se sastojao od (1) tlačnog sustava za OPG Humski, (2) tlačnog sustava za Zadrugu Musil, sa crpnom stanice Bistra I i precrpnom stanice Bistra II potrebnih za postizanje odgovarajućih tlakova na području Zadruge Musil. Idejni i glavni projekti za prvu fazu su bili dovršeni a lokacijska i građevinska dozvola ishođene. Druga faza se nije razmatrala u kontekstu Projekta razvoja navodnjavanja odnosno potencijalnog zajma Svjetske banke.

3. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA

Već nakon inicijalnog pregleda tehničke dokumentacije za razne pod-projekte, izrađene od strane raznih projektantskih tvrtki, utvrđeno je da su korištene različite pretpostavke za ključne projektne parametre iz kojih slijede ključne dimenzije projektiranog sustava. Jedna od ključnih pretpostavki odnosi se strukturu sjetve u uvjetima navodnjavanja i na omjer površina unutar obuhvata sustava koje će se u određenoj godini navodnjavati. Nadalje, prilikom dimenzioniranja sustava navodnjavanja korištene su različite pretpostavke za radno vrijeme navodnjavanja i efikasnost sustava navodnjavanja iz čega se mogu dobiti značajno različiti protoci za dimenzioniranje sustava.

Osnovna jednadžba za dimenzioniranje sustava za navodnjavanje (za upravljanje po prin-

$$Q[l/s] = \frac{A[ha] \cdot H_n[l/s/ha]}{E \cdot (T/24)}$$

cipu rotacije) može se napisati kao:

gdje je A površina koja će se navodnjavati, H_n je netto hidromodul (vršna evapotranspiracija), E je efikasnost sustava (uključujući sustav za dovod vode do parcele i sustav navodnjavanja na parceli), a T je radno vrijeme navodnjavanja u satima. Tablica 1 prikazuje pregled parametara za dimenzioniranje tlačnih sustava za navodnjavanje u postojećoj

Project	A (ha)	Hn (mm/day)	Hn (l/s/ha)	T (h)	E (%)	Q (l/s)	Projekt (l/s)
Kapinci-Vaška	1280	4,20	0,49	20	0,83	900	900
Orubica	437	1,60	0,19	18	0,77	140	200
Vinkovci	46	4,80	0,56	12	1,00	51	75
Kaptol	170	4,00	0,46	18	1,00	105	100
Pavlomir	44	4,60	0,53	16	1,00	35	40

Tablica 1. Pregled parametara za dimenzioniranje sustava u postojećoj projektnoj dokumentaciji.

projektnoj dokumentaciji.

Iz Tablice 1 je vidljivo da pretpostavljena radna vremena navodnjavanja variraju od 12 do 20 sati te da je za neke sustave razlika između bruto i neto hidromodula (odnosno gubici u sustavu) zanemarena prilikom izračuna projektnog protoka. Također se može primijetiti i značajno odstupanje neto hidromodula za SN Orubica u odnosu na ostale sustave.

Nadalje, na osnovu detaljne analize strukture sjetve i ograničenja pri uvođenju navodnjavanja koja su provedena za potrebe izrade ovih studija izvedivosti, zaključeno je da se u određenoj godini ne bi navodnjavale sve površine obuhvaćene sustavom navodnjavanja. To znači da ni površina A u jednadžbi (1) ne bi bila jednaka punoj površini sustava navodnjavanja nego bi bila umanjena za određeni faktor R koji se može nazvati "omjer navodnjavanja". Nakon uvrštavanja umanjenih površina za navodnjavanje i usklađenih vrijednosti za parametre T i E te provođenja eventualnih dodatnih korekcija, moglo bi doći do značajnih promjena projektnih protoka koje bi mogle zahtijevati značajne izmjene projektne dokumentacije.

Tablica 2 prikazuje vrijednosti parametara i protoka za dimenzioniranje sustava navodnjavanja preporučenih u studijama izvedivosti. U nekim slučajevima (Kapinci-Vaška, Kaptol, Pavlomir), nakon izmjene određenih parametara došlo je do poništavajućih efekata tako da se konačni protok za dimenzioniranje nije značajno promijenio u odnosu na postojeći projekt, dok je u nekim slučajevima (Orubica, Vinkovci) došlo do promjena koje zahtijevaju promjene u projektnoj dokumentaciji.

U svim slučajevima površine za dimenzioniranje su smanjene sukladno vrijednostima omjera navodnjavanja preporučenih od strane agro-ekonomskih eksperata. Napominje se da je za SN Orubica preporučeno da se zbog slabije kvalitete tla 2. faza od 111 ha ne izvodi, tako da se razmatra samo 326 ha od početnih 437 ha.

Vrijednosti neto hidromodula izračunate su konzistentnom metodologijom (FAO) za predložene (novelirane) strukture sjetve na temelju noveliranih nizova klimatoloških podataka. Napominje se da je vrijednost za SN Kaptol manja zbog ograničenih količina vode tako da taj hidromodul odgovara 80-postotnoj vjerojatnosti prekoračenja.

Radna vremena navodnjavanja su preporučena kao 16 sati za sve sustave osim za SN Pavlomir. U tom slučaju zbog jednoobraznosti opreme za navodnjavanje koja je isključivo kap na kap i zbog upravljanja od strane jedne pravne osobe smatra se da je radno vrijeme od 18 sati opravdano.

Efikasnosti sustava se međusobno razlikuju jer se udjeli visokotlačne opreme s većim gubicima (tifoni) i niskotlačne opreme s manjim gubicima (mini rasprskivači ili kap na kap) razlikuju od sustava do sustava, ali za sve sustave je pretpostavljena ista efikasnost

Project	Puna površina (ha)	Omjer R	A (ha)	Hn (l/s/ha)	T (h)	E (%)	Q (l/s)	Projekt (l/s)
Kapinci-Vaška	1280	0,625	800	0,50	16	0,67	900	900
Orubica	326	0,837	273	0,47	16	0,67	288	200
Vinkovci	46	0,761	35	0,52	16	0,65	42	75
Kaptol	170	0,771	131	0,35	16	0,70	98	100
Pavlomir	44	1,000	44	0,53	18	0,78	40	40

Tablica 2. Pregled parametara za dimenzioniranje sustava preporučenih u studijama izvedivosti.

opreme (75% visokotlačna, 90% niskotlačna) i sustava za zahvat i dovod vode (83,3%).

Može se zaključiti da konačne dimenzije i cijena izgradnje sustava za navodnjavanje u velikoj mjeri ovise o pretpostavkama i parametrima uvrštenim u osnovnu jednadžbu za dimenzioniranje (1). Metodologija i kriteriji za vrijednosti tih parametara bi se trebali utvrditi i uskladiti od strane hidrotehničkih i agro-ekonomskih stručnjaka na stručno-znanstvenoj osnovi, da bi se u konačnici dobili isti rezultati i ključne dimenzije sustava za zadani problem.

4. TEHNIČKA OPTIMALIZACIJA

Budući da je jedan od ciljeva studija izvedivosti dokazivanje optimalnosti odabranog tehničkog rješenja, za potrebe ovih studija izvedivosti provedene su raznovrsne analize alternativnih rješenja i optimalizacija dimenzija sustava. Generalno, zbog stupnja gotovosti projektne dokumentacije i statusa ishođenosti dozvola, alternativna koncepcijska rješenja (koja bi se sastojala npr. od analize alternativnih izvora vode, alternativnog broja i/ili lokacija crpnih stanica, alternativnih trasa cjevovoda i sl.) nisu bila razmatrana. Prezentacija alternativnih koncepcijskih rješenja i odabir optimalnog koncepcijskog rješenja generalno nije adekvatno obrađena u postojećoj projektnoj dokumentaciji, koja je sukladno važećoj zakonskoj regulativi orijentirana na detaljnu razradu odabranog rješenja. Alternativna rješenja su na manje ili više formalan način bila razmatrana kroz radne sastanke projektanata, investitora i ostalih zainteresiranih stranaka ali dokumentacija tih razmatranja nije bila na raspolaganju, što je problem prilikom ”naknadne” izrade studije izvedivosti.

Međutim, čak i nakon prihvaćanja odabranog koncepcijskog rješenja i usvajanja osnovne konfiguracije tlačnog sustava (izvor vode, broj i lokacija crpnih stanica, trase cjevovoda), postoji nekoliko varijabli koje se mogu razmatrati kroz tehno-ekonomske analize alternativnih rješenja i optimalizaciju sustava, uključujući visinu dizanja na crpnoj stanici, tlakove na hidrantima i profile cjevovoda). Eventualne promjene tih varijabli ne bi iziskivale prevelike izmjene postojeće dokumentacije i bile bi opravdane ukoliko bi došlo do značajnog smanjivanja kombinacije investicijskih i pogonskih troškova.

Pitanje tlakova koji trebaju biti osigurani na hidrantima je bilo od posebnog interesa za osoblje i konzultante Svjetske banke. Neki od sustava (SN Kapinci-Vaška, SN Vinkovci, dio SN Kaptol) su bili projektirani kao ”visokotlačni” sustavi, s tlakovima na hidrantima od minimalno 5,5 bara, imajući u vidu tifone kao predominantnu opremu za navodnjavanje. Za te sustave je kao alternativno rješenje postavljeno rješenje s nižim tlakovima na hidrantima (2,5 bara) koji su dovoljni za opremu za lokalizirano navodnjavanje, dok bi korisnici koji žele koristiti visokotlačnu opremu (tifone) morali nabaviti i mobilne dizel pumpe za podizanje tlaka za dodatnih 3 bara. U tom slučaju, ako bi se zadržala ista visina dizanja na crpnoj stanici profili cjevovoda bi se mogli smanjiti ili ako bi se zadržali isti profili onda bi se visina dizanja na crpnoj stanici mogla smanjiti. Na oba načina cijena investicije u izgradnju sustava za dovod vode bi se smanjila a cijena nabave opreme za navodnjavanje povećala (za korisnike koji žele koristiti visokotlačnu opremu). Rezultat usporedbe ovih varijanti najviše ovisi o omjeru udjela visokotlačne i niskotlačne opreme za navodnjavanje, koji ovisi o interesima i mogućnostima korisnika te raspoloživosti postojeće opreme. Tehno-ekonomska analiza ovih varijanti za SN Kapinci-Vaška,

uvažavajući relativno visok udio visokotlačne opreme, je pokazala da je rješenje s višim tlakovima na hidrantima sveukupno ekonomičnije.

Nakon što su definirani potrebni tlakovi na hidrantima, ostaje pitanje odabira profila cjevovoda i visine dizanja na crpnoj stanici. Za iste minimalne tlakove, moguće je dobiti čitav niz rješenja s različitim visinama dizanja i različitim profilima cjevovoda. Više visine dizanja znače skuplje crpke i veće pogonske troškove uz manje (jeftinije) cjevovode i obratno. Rezultati ove optimalizacije ovise o cijenama izgradnje cjevovoda, cijenama crpki, cijeni energije, razdoblju razmatranja i diskontnoj stopi. Generalno, ovakva optimalizacija u postojećoj projektnoj dokumentaciji nije bila formalno provedena. Za potrebe ovih studija izvedivosti, ovakve optimalizacije su provedene za sve tlačne sustave, da bi se provjerilo da li je projektirano rješenje dovoljno blizu optimalnog ili postoji značajno ekonomičnije rješenje.

Za svaku specificiranu visinu dizanja na crpnoj stanici, optimalni profili cjevovoda su određeni koristeći računalni program COPAM (FAO, 2000), a konačni hidraulički proračuni optimalne varijante su provedeni koristeći računalni program EPANET 2.

Na temelju provedenih optimalizacija, došlo se do preporuka za promjene profila cjevovoda na SN Kapinci-Vaška, uz istu visinu dizanja na crpnoj stanici kao što je bila predviđena projektom, koja je rezultirala smanjenjem cijene investicije za oko 10%. Za SN Orubica i SN Vinkovci došlo se do preporuka za promjene profila cjevovoda uz određena povećanja visine dizanja na crpnim stanicama. Za SN Kaptol i SN Pavlomir utvrđeno je da su projektirana rješenja blizu optimalnog.

5. FINANCIJSKE I EKONOMSKE ANALIZE

Nakon što je definirano (optimalno) tehničko rješenje, bilo je potrebno definirati cijenu investicije te troškove korištenja, upravljanja i održavanja, uključujući pogonske troškove. Premda je postojeća projektna dokumentacija sadržavala troškovnike na temelju kojih su bile izračunate cijene investicije za pojedine projekte, nakon pregleda troškovnika za različite projekte utvrđeno je da se jedinične cijene značajno razlikuju tako da je bilo potrebno formirati i primijeniti jedinstvene jedinične cijene (za npr. nabavu i ugradnju cjevovoda) i revidirati cijene investicija. U slučaju da se kroz tehničku reviziju i optimalizaciju došlo do rješenja koje je različito od projektiranog, cijena investicije za to revidirano rješenje je korištena u daljnjim financijskim i ekonomskim analizama.

Troškovi korištenja, upravljanja i održavanja su procijenjeni kao određeni postoci od cijene investicije ovisno o vrsti opreme, a pogonski troškovi (energija) su proračunati uzimajući u obzir varijacije potreba za vodom tijekom godine i potrebnih tlakova da bi se omogućilo upravljanje „na zahtjev" većim dijelom godine odnosno „u rotaciji" u vrijeme najvećih potreba za vodom. Ukupni godišnji troškovi korištenja, upravljanja i održavanja plus pogonski troškovi sustava za zahvat i dovod vode podijeljeni s ukupnim godišnjim potrebama za vodom daju minimalnu cijenu vode koju korisnici sustava za navodnjavanje moraju plaćati instituciji koja će biti zadužena za upravljanje sustavom. Osim cijene investicije u sustave za zahvat i dovod vode, bilo je potrebno procijeniti i troškove nabave te troškove održavanja opreme za navodnjavanje, koje snose korisnici.

S druge strane, bilo je potrebno procijeniti koristi od uvođenja navodnjavanja kao razliku između dobiti koju će ostvarivati korisnici za situaciju nakon uvođenja navodnjavanja („s

projektom") u odnosu na situaciju prije uvođenja navodnjavanja („bez projekta"). To je zahtijevalo kalkulaciju dobiti za svaku kulturu, uzimajući u obzir povećanje prinosa uslijed uvođenja navodnjavanja. Množenjem dobiti za pojedine kulture s postotkom kulture u strukturi sjetve dobiva se ukupna financijska korist od uvođenja navodnjavanja. Usporedbom ukupnih koristi i troškova, uz diskontiranje budućih vrijednosti preko odgovarajuće diskontne stope, izračunava se neto sadašnja vrijednost, koja mora biti pozitivna da bi investicija bila financijski opravdana.

Koristeći razdoblje izračuna od 20 godina i diskontnu stopu od 7%, financijske analize su pokazale da svi razmatrani projekti imaju pozitivne neto sadašnje vrijednosti tj. da su financijski opravdani. U financijskim analizama uključeni su PDV, poticaji i porez na dobit.

U ekonomskim analizama isključeni su PDV, poticaji i porez na dobit, a trebali bi biti uključeni i svi troškovi i koristi koji imaju društvenu vrijednost. Za potrebe ovih studija pretpostavljeno je da je društvena korist od uvođenja navodnjavanja jednaka financijskoj koristi koju će ostvarivati korisnici kroz povećanu dobit, ali bez PDV-a, poticaja i poreza na dobit. Ekonomski troškovi su jednaki financijskim troškovima bez PDV-a. Ostale društvene koristi nisu numerički valorizirane ali i bez tih koristi rezultati ekonomske analize pokazuju da su razmatrani projekti navodnjavanja ekonomski opravdani.

Cijene vode za korisnike sustava navodnjavanja, koje minimalno trebaju pokriti troškove korištenja, upravljanja i održavanja plus pogonske troškove sustava za zahvat i dovod vode, mogu se ocijeniti kao prihvatljive.

ZAKLJUČAK

Prilikom izrade studija izvedivosti opisanih u ovom radu i revizije istih od strane konzultanata Svjetske banke zaključeno je slijedeće:

1. Izrada studija izvedivosti u ovoj fazi gotovosti projektne dokumentacije nije uobičajena u sekvenci izrade studijske i projektne dokumentacije za projekte financirane od strane međunarodnih financijskih institucija. Činjenica da su za neke pod-projekte čak i glavni projekti s ishođenim potvrdama bili gotovi zahtijevala je da se predložene modifikacije svedu na minimum da bi se izbjegle značajne dorade projektne dokumentacije i ponovno ishođenje dozvola. Za buduće projekte navodnjavanja poželjna je izrada studije izvedivosti, uključujući analizu alternativnih rješenja, u ranoj fazi pripreme projekta.
2. U postojećoj tehničkoj dokumentaciji za razne pod-projekte, izrađenoj od strane raznih projektantskih tvrtki, koriste se različite pretpostavke za ključne projektne parametre iz kojih slijede ključne dimenzije projektiranog sustava. Jedna od ključnih pretpostavki odnosi se strukturu sjetve u uvjetima navodnjavanja i na omjer površina unutar obuhvata sustava koje će se u određenoj godini navodnjavati. Metodologija i kriteriji za ove procjene bi se trebali utvrditi i uskladiti od strane agro-ekonomskih stručnjaka na stručno-znanstvenoj osnovi. Nadalje, prilikom dimenzioniranja sustava navodnjavanja korištene su različite pretpostavke za radno vrijeme navodnjavanja i efikasnost sustava navodnjavanja iz čega se mogu dobiti značajno različiti protoci za dimenzioniranje sustava. Metodologija i kriteriji za procjene ovih parametara bi se također trebali utvrditi i uskladiti na stručno-znanstvenoj osnovi, da bi se u konačnici

dobili isti rezultati i ključne dimenzije sustava za zadani problem.

3. Postojeća tehnička dokumentacija nije u dovoljnoj mjeri obradila alternativna rješenja niti dokazala da su predložena rješenja optimalna. Za tlačne sustave navodnjavanja potrebno je provesti optimalizaciju profila cjevovoda za svaku razmatranu visinu dizanja na crpnoj stanici, a nakon toga i optimalizaciju visine dizanja na crpnoj stanici uzimajući u obzir investicijske vrijednosti te troškove upravljanja i održavanja, uključujući pogonske troškove.
4. U slučajevima kada je to primjereno, potrebno je obraditi i alternativno rješenje „niskotlačnog" sustava kakvo su preporučili konzultanti Svjetske banke. Za takav sustav se zahtijevaju tlakovi na hidrantima od 2,5-3,5 bara, koji su dovoljni za priključak niskotlačne opreme za navodnjavanje kao što su mini rasprskivači ili kap na kap, ali nisu dovoljni za direktan priključak visokotlačne opreme za navodnjavanje kao što su tifoni, koji zahtijevaju tlakove od 5-6 bara. U troškove niskotlačne alternative potrebno je dodati i investicijske i pogonske troškove mobilnih crpki za one korisnike koji namjeravaju priključiti visokotlačnu opremu. Ekonomska usporedba „visokotlačnog" i „niskotlačnog" sustava ovisi o strukturi sjetve i raspoloživosti postojeće opreme za navodnjavanje. Uzimajući u obzir ove čimbenike, u slučaju intenzivno raspravljanog SN Kapinci-Vaška, utvrđeno je da je projektirana „visokotlačna" alternativa povoljnija od „niskotlačne" alternative.
5. Tehnički i ekonomski aspekti studija izvedivosti su međusobno povezani u raznim fazama. Procjena buduće strukture sjetve i osobito konačnog omjera navodnjavanih i nenavodnjavanih površina unutar obuhvata sustava ima veliki utjecaj na dimenzioniranje sustava i tehničko rješenje, a optimalizacija tehničkog rješenja s aspekta optimalnih tlakova u sustavu zahtijeva i ekonomske analize s aspekta usporedbe troškova, uključujući investicijske i tekuće troškove.
6. Za razmatrane pod-projekte prve faze potencijalnog Projekta razvoja navodnjavanja zaključeno je da su tehnički i ekonomski izvedivi. U ovim slučajevima dokazano je da se investicijski i tekući troškovi sustava navodnjavanja mogu pokriti povećanim prihodima od navodnjavanja. Cijene vode za korisnike sustava navodnjavanja, koje minimalno trebaju pokriti troškove korištenja, upravljanja i održavanja plus pogonske troškove sustava za zahvat i dovod vode, mogu se ocijeniti kao prihvatljive.

LITERATURA

[1] FAO, 2000: *Performance Analysis of On-Demand Presurized Systems*, FAO Irrigation and Drainage Paper 59, Rome, Italija.

AUTORI

dr. sc. Marijan Babić, dipl. ing. građ. [a]
Marinko Galiot, dipl. ing. građ. [b]
dr. sc. Danko Holjević, dipl. ing. građ. [c]
doc. dr. sc. Josip Juračak, dipl. ing. agr. [d]
Enes Obarčanin, dipl. ing. građ. [e]

[a] Institut IGH d.d., J. Rakuše 1, 10000 Zagreb, Hrvatska, marijan.babic@igh.hr

[b] Hrvatske vode,Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, marinko.galiot@voda.hr

[c] Hrvatske vode,Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, danko.holjevic@voda.hr

[d] Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, jjuracak@agr.hr

[e] Institut IGH d.d., J. Rakuše 1, 10000 Zagreb, Hrvatska, enes.obarcanin@igh.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.18.

AKUMULACIJE ZA NAVODNJAVANJE U ISTRI – RAZVOJ IDEJA I NOVI PRISTUPI

Ivana Mihalić Fabris, Josip Rubinić, Nenad Ravlić

SAŽETAK: Velike suše i velike vode koje se periodički javljaju uvijek iznova aktualiziraju pitanje mogućnosti izgradnja akumulacija kao objekata za djelomičnu regulaciju režima otjecanja. Akumulacijama se smanjuju posljedice pojava takvih ekstremnih stanja potenciranih upravo recentnim klimatskim promjenama/varijacijama. U radu je sadržan prikaz razvoja brojnih ideja o izgradnji akumulacija u Istri, posebice za potrebe osiguranja vode za navodnjavanje, kao i diskusija problema vezanih uz njihovu (ne)realizaciju. Prodiskutirani su prisutni tradicionalni koncepti njihovog planiranja i upravljanja, kao i neki za područje Istre mogući noviji pristupi - počev od kombinacije prihranjivanja akumulacija vodom iz različitih izvora vodosnabdijevanja, pa do korištenja dijelova krškog vodonosnika kao prostora za dodatno umjetno prihranjivanje i akumuliranja voda iz površinskih sustava, uključujući i pročišćene otpadne vode.

KLJUČNE RIJEČI: Akumulacije, navodnjavanje, Istra, površinske i podzemne vode, prihranjivanje krških vodonosnika.

IRRIGATION RESERVOIRS IN ISTRIA – IDEA DEVELOPMENT AND NEW APPROACHES

SUMMARY: Severe droughts and high waters that occur periodically keep raising the question of constructing reservoirs as facilities for partial pre-regulation of the drainage regime. The reservoirs would mitigate the consequences of such extreme conditions that have been caused by recent climate changes/variations. The present paper includes a review of numerous development ideas regarding the construction of reservoirs in Istria, particularly for the needs of irrigation, as well as a discussion of possible problems relevant to their (non) construction. The current traditional concepts of their planning and management have been discussed, as well as some new possible approaches that can be applied in Istria – such as a combination of recharging reservoirs with water from various sources of water supply, and using parts of karstic aquifer as locations for the additional artificial recharge and storage of water from surface systems, including purified drainage water.

KEY WORDS: Reservoirs, irrigation, Istria, surface water, groundwater, artificial recharge of karstic aquifers.

1.UVOD

Istra je područje koje ima dugu vodnogospodarsku tradiciju, kao i područje na kome su se razvijali i neki novi pristupi pri korištenju vodnih resursa. Tako je u Istri još 1864.g. osnovana vodna zajednica u kojoj su data i prva promišljanja o izgradnji površinskih akumulacija. Početkom 20. stoljeća, kao mogućim izvorištima vodoopskrbe, provođena su prva umjetna prihranjivanja krških vodonosnika vodom iz površinskih akumulacija. No, Istra je i područje na kome su najprije uočena i neka negativna iskustva s već izgrađenim akumulacijama – Boljunčicom (problem gubitaka vode) i Butonigom (problem kakvoće vode i hidroloških prognoza), kao i područje na kome unatoč postojanja razrađenih ambicioznih planova navodnjavanja, ono nije zaživjelo. Planirani razvoj poljoprivrede i za to potrebnog navodnjavanja, posebice u okviru UNDP projekta provođenog sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog stoljeća, bio je isprva vezan za koncept izgradnje velikih akumulacija na istarskim površinskim vodotocima. Zbog ne realizacije takvog projektnog pristupa, uvedeni su novi koncepti - planiranje izgradnje mikroakumulacija s kombiniranim osiguranjem voda iz površinskih vodotoka i podzemlja (Rubinić, 2005) pa i viškova vode iz vodoopskrbnog sustava (Ravlić, 2007).

Akumulacijama je moguće valorizirati vrijednost vodnih resursa te time povećati blagostanje na nekom prostoru, ali ih prate i rizici nekih negativnih promjena po okruženje. Do sada nedovoljno iskorišteni akumulacijski potencijal imaju i krški vodonosnici, i to kao prirodni sustavi s akumuliranim sezonskim rezervama podzemnih voda unutar vlastitog hidrološkog ciklusa, ali i kao sustavi koje je moguće umjetno prihranjivati. Takvo umjetno prihranjivanje u funkciji je povećanja ukupnih sezonskih rezervi voda, ali i popravljanja njihove kakvoće ukoliko se radi o prihranjivanju pročišćenim otpadnim vodama. Primjerenim izborom lokacija takvim se prihranjivanjem može se pridonijeti i zaštiti priobalnih krških vodonosnika od prekomjernih prodora zaslanjenih voda. Iako, kao što je spomenuto, dosadašnja iskustva s već izgrađenim akumulacijama u Istri nisu povoljna, u cilju zadovoljavanja potreba za vodom i optimalizacije korištenja postojećih vodnih resursa neizbježna je i izgradnja novih akumulacija. Planiranje izgradnje akumulacija je nužna i za poboljšanje ekoloških prilika u dijelu istarskih vodotoka kojima je kaptažom izvora za potrebe vodoopskrbe smanjena mogućnost osiguranja njihova ekološki prihvatljivog protoka.

2. RAZVOJ IDEJA O IZGRADNJI AKUMULACIJA U ISTRI

Početkom 20. stoljeća javljaju se i prva promišljanja o izgradnji površinskih akumulacija u Istri, isprva kao mogućim izvorištima vodoopskrbe, o čemu je detaljan pregled dao Kos (2001). Godine 1904. završen je "Izvještaj poduzeća Carl barun von Schwarz o načelnim principima koje treba slijediti pri uređenju vodnog gospodarstva Istre", u kojem se predlaže izgradnja nekoliko akumulacija na višim dijelovima flišnog područja sjeverne i središnje Istre, ukupnog volumena oko 10 mil. m^3. Nakon toga slijedile su 1913.g. dvije varijante rješenja vodoopskrbe, autori kojih su bili inženjeri Friedrich i Schiavoni. Jedna od tih varijanti je bila zasnovana na izgradnji sustava triju akumulacija na području Zrenjske visoravni. I u projektu ing. Poschera (Possa) iz 1922.g. preporuča se izgradnja sustava akumulacija na vodotocima, ovaj puta s područja Brkina u slovenskom priobalju. No, potporu za realizaciju dobio je projekt inž.Veronezea (1928.g.), koji je bio vezan za

kaptažu izvora Sv.Ivan.

Nakon II. svjetskog rata javljaju se ponovna razmišljanja o mogućnostima izgradnje akumulacija u Istri u cilju osiguranja vode za navodnjavanje. Detaljan pregled dokumenata u kojima je razmatrana mogućnost izgradnje akumulacija površinskih voda u Istri dao je Rubinić (1999) odakle se u nastavku i prenose dani navodi. Tako je Idejnom studijom "Akumulacija vode kod Pazina" /Rijekaprojekt, 1960/ predviđena akumulacija s volumenom od 0.93 mil. m^3, u funkciji osiguranja vode za navodnjavanje i tehnoloških voda. Izrađena je i studija tzv. Boljunskih akumulacija /Vodoprivredni odjeljak Rijeka, 1960/, kojom je na gornjem dijelu sliva Boljunčice previđena izgradnja tri akumulacije ukupnog volumena 9.6 mil. m^3. Hidrološko-hidraulička studija Boljunčice /OVP Rijeka, 1967/ također je na tragu tih razmatranja, nakon čega je izrađen i glavni projekt akumulacije Boljunčica I /Elektroprojekt, 1968. Prema tom projektu 1970.g. je izgrađena brana Letaj, te formirana akumulacija Boljunčica s volumenom 6.5 mil. m^3. U razdoblju 1960. - 1962. g. OVP Rijeka izradilo je više studija i izvještaja u kojima je, za potrebe osiguranja vode za navodnjavanje, analizirana mogućnost realizacije malih akumulacija (volumena cca 0.10 – 0.2 mil. m^3). Godine 1964. izrađen je i elaborat Akumulacija Posert.

Izgradnja akumulacija u slivu Mirne po prvi je put planirana u okviru Vodoprivredne osnove sliva Mirne /Projekt, 1965/, gdje je predložena izgradnja akumulacije Butonige s volumenom od 57.5 mil. m^3. Detaljnija razrada tog prijedloga dana je u idejnom projektu te akumulacije /Elektroprojekt, 1967/. Obzirom da je bilo sumnji da su procijenjene veličine dotoka u akumulaciju Botonega nerealno visoke, te da se samo tom jednom akumulacijom ne mogu zadovoljiti sve iskazane potrebe za navodnjavanjem, izrađena je i cjelovita studija o akumulacijama u Istri - Studija akumulacija u srednjoj Istri /Elektroprojekt, 1970/. Tom je studijom u slivu Mirne predložena izgradnja tri akumulacije (Butoniga, Bračana i Rečina), kao i tri akumulacije na području Pazinštine - akumulacije Pazin (16.1 mil. m^3), Marganica (6.25 mil. m^3, i to bez izgradnje pregrade već brtvljenjem ponora Čiže) i Rakov potok (5.8 mil. m^3). Analizirana je i mogućnost izgradnje sustava međusobno povezanih retencija na vodotocima Zrenjske visoravni s akumulacijom Momjan (18 mil. m^3) na Momjanskom potoku (Argili). U toj je studiji potvrđeno da akumulacija Butoniga, s planiranim volumenom od 13.2 mil.m^3, ima prioritet u izgradnji, a njena namjena bi bila osiguranje vode za navodnjavanje i redukciju vodnih valova. Kao slijedeća, predložena je i izgradnja akumulacije Bračana, a za koju su predložene dvije varijante - s volumenom 9.6 mil. m^3 za varijantu sustava akumulacije Bračana i Rečina, te 16.9 mil. m^3 za varijantu samostalne akumulacije Bračana. Za akumulaciju Rečina (6 mil. m^3) predložena je pregrada Pengari na vodotoku Rečini. Planirano je da se tu akumuliraju vode i iz susjednog sliva Drage, na kojoj je predviđena retencija 0.75 mil. m^3, te izgradnja spojnog tunela do Rečine.

Sredinom sedamdesetih izrađen je Vodoprivredni plan Istre /Elektroprojekt, 1977. Analizirane su varijante da se već izgrađena akumulacija Letaj - Boljunčica (6.5 mil. m^3), kao i akumulacija Butoniga (19.7 mil. m^3), koriste za vodoooopskrbu s polovinom volumena. Ta je varijanta uspoređene s varijantom izgradnje akumulacije Pazin (25.1 mil. m^3), koja je zbog visinskog položaja (kota uspora 256 m n.m.), cijene koštanja i geografskog položaja u spomenutom elaboratu i predložena kao najpovoljnija varijanta za rješavanje vodoopskrbnih potreba za vodom iz akumulacija. No, kasnije je prioritet ipak dobila akumulacija Butoniga. Krajem sedamdesetih pokreće se projekt – „Studija o mogućnostima

razvoja i eksploatacije vodnog bogatstva u Istri“ - Planovi navodnjavanja i vodoopskrbe, a koji je stručno i financijski bio podržan i od strane UNDP-a putem FAO-a /UNDP Projekt, 1979/. U projektu je preporučeno da se u slivu Mirne, uz izgradnju akumulacije Butoniga s volumenom od 30 mil. m^3, u slijedećim fazama planira izgradnja akumulacija Bračane (45 mil. m^3) i Rečine (kao samostalne akumulacije s volumenom od 15 mil. m^3 ili u sustavu s akumulacijom Draga), te akumulacije Kontarini (17 mil. m^3), u koju bi se prebacivale crpljene vode iz rijeke Mirne.

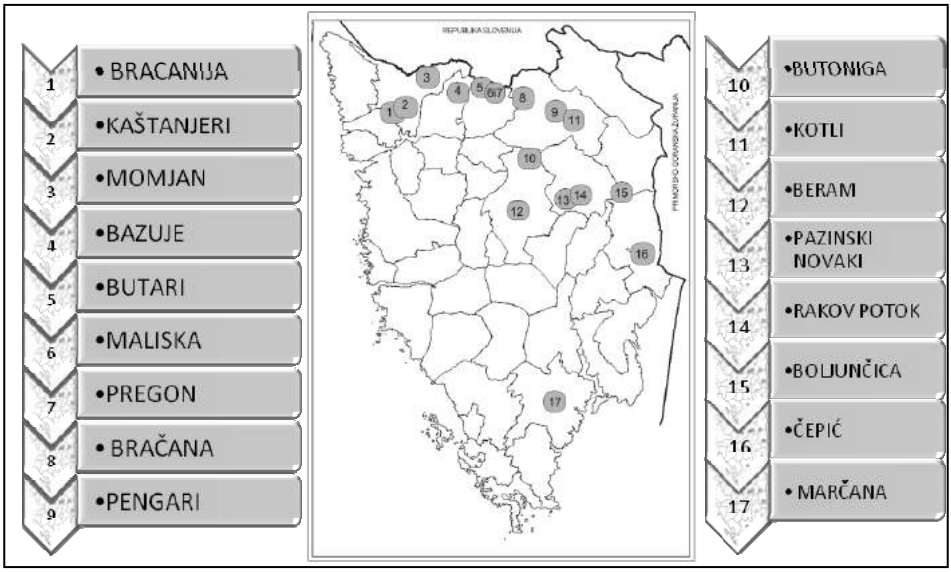
U slivu Boljunčice ocijenjeno je da je za zadovoljavanje ukupnih potreba za vodom nužno provesti sanacijske radove na postojećoj akumulaciji Boljunčici za osiguranje volumena od 4.5 mil. m^3, kao i izgraditi akumulaciju Boljunčica II (7.1 mil. m^3). Predloženo je da se kao treća faza izgradi i akumulacija Rakov potok (volumena 9.0 mil. m^3) u slivu Pazinčice. Za rješavanje vodoopskrbe Pule i navodnjavanja poljoprivrednih površina područja južne Istre, u spomenutoj je studiji planirana izgradnja akumulacije Marčana za koju je bilo planirano napajanje crpljenjem količinama voda izvora Blaz u Raškom zaljevu.

Krajem sedamdesetih započeli su opsežni radovi na izradi idejnog rješenja Vodoopskrbnog sustava Istre /Energoprojekt, 1980/. U njemu se akumulacija Butoniga, čija je izgradnja započeta 1979.g., tretira kao vodoopskrbni objekt kojim bi se, u konačnici, trebalo osigurati 1945 l/s vršnih sezonskih potreba za vodom. Predloženo je i „prebacivanje“ dijela preljevnih voda izvora Bulaž u akumulaciju radi dodatnog osiguranja vodnih zaliha.

Nakon spomenutih elaborata i studija koje su imale karakter regionalnih sagledavanja na razini cjelokupnog područja Istre, tijekom slijedećih desetak godina izrađeno je nekoliko studija koje su razmatrale mogućnost izgradnje akumulacija na pojedinim lokalitetima. Tako je napravljena studija navodnjavanja Bujštine iz sustava akumulacija na području Zrenjske visoravni /Vodoprivreda Rijeka, 1983/. Razmatrane su dvije varijante - I varijanta s izgradnjom akumulacije Momjan u sustavu s akumulacijama i retencijama na vodotocima s područja Zrenjske visoravni, kao i II varijanta bez akumulacije Momjan, pri čemu bi ulogu završne akumulacije preuzela akumulacija Butari. Analizirana je I mogućnost izgradnje akumulacije Grobnik (volumena 3.4 mil. m^3) kao i nekoliko uzvodnih retencija /Vodoprivreda Rijeka, 1989/. Katastrofalna poplava u listopadu 1993.g., kao i okolnost da na terenu nije bilo pomaka u realizaciji ranijih planova navodnjavanja, rezultirala je studijom Plan natapanja za područje istarskih slivova /Građevinski fakultet Rijeka, 1998/. Osnovni zadatak te studije bila je novelacija UNDP-ovog plana navodnjavanja i vodoopskrbe iz 1979.g., jer su se u razdoblju od proteklih gotovo 20 godina od dovršetka njegove izrade dogodile brojne promjene. Za osiguranje vode za navodnjavanje područja zapadne Istre razmatrane dvije varijante - I varijanta s osiguranjem svih potrebnih količina voda iz akumulacija u slivu Mirne te II varijanta gdje se te potrebe nastoje zadovoljiti iz sustava akumulacija u slivu Mirne, Pazinčice, Beramskog potoka i vodotoka na području Zrenjske visoravni. Pri analiziranim varijantnim rješenjima razmatran je velik dio ranije planiranih lokacija akumulacija, kao i akumulacija Blaškići (volumena 3.4 mil. m^3) kao akumulacijski prostor u dolini Mirne u koga će se crpljenjem sezonski pohranjivati dio voda iz korita Mirne.

Kako ni taj plan nije rezultirao pomacima u smislu fizičke realizacije projekata navodnjavanja, od strane IGH PC Rijeka (Ravlić, 2007) provedena je njegova najnovija novelacija. Ona je provedena u sklopu operacionalizacije na županijskim razinama Na-

cionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj koga je izradio Agronomski i Građevinski fakultet Zagreb (Romić, Marušić, 2005). Obzirom na aktualne interese za navodnjavanjem, taj posljednji noveliran plan prihvaća koncept daljnjeg razvoja navodnjavanja na području Istre uzimajući u mogućnost planiranje izgradnje svih potencijalno mogućih pregradnih profila tzv. velikih akumulacija iz ranijih dokumenata, a među kojima je velik broj njih našao svoje mjesto i u Županijskom prostornim planu Istarske županije (Slika 1.). U prijelaznom razdoblju do njihove izgradnje predlaže se i koncept razvoja niza samostojećih mini-sustava za sakupljanje vode i navodnjavanje, za koje bi se zalihe vode osiguravale kombiniranim putem – oborinskim vodama s vlastitog sliva, ali i prihranjivanjem podzemnim vodama, kao i viškovima vode iz vodoopskrbnog sustava. Predlaže se provedba optimalizacije korištenja vodnih resursa što bliže lokaciji njihova korištenja, i to u što skorije vrijeme – ne čekajući i nadalje samo razvoj sustava velikih akumulacija.

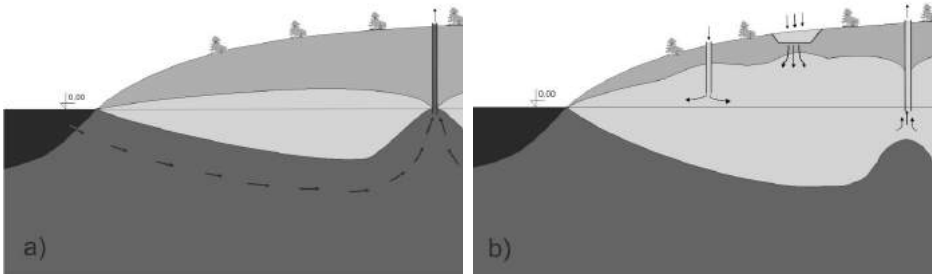


Slika 1. Prikaz planiranih većih akumulacija za navodnjavanje na području Istarske županije

3. NOVI PRISTUPI POVEĆANJU AKUMULIRANJA VODNIH ZALIHA U ISTRI

Razvojem koncepta mini-akumulacija nisu iscrpljene i sve mogućnosti optimiziranja akumuliranja vodnih zaliha na području Istre. Postoji još jedno veliko i do sada nekorišteno područje, a to su pročišćene otpadne vode kao resurs za prihranjivanje površinskih i pogotovo podzemnih akumulacija. Naime, kako Odlukom o osjetljivosti područja RH (NN br. 81/10) sjevero-zapadna Istra ima status eutrofnog područja, u skladu s time i normama i direktivama EU očekuje da će se do 2018.g. sve otpadne vode osjetljivog područja prije ispuštanja u more (ili daljnjeg korištenja) biti prihvaćene i obrađene na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda do 3.stupnja. Radi se o stupnju pročišćavanja koji garantira primjerenu kakvoću voda za njihovo višekratno korištenje, te bi bilo izuzetna šteta da se

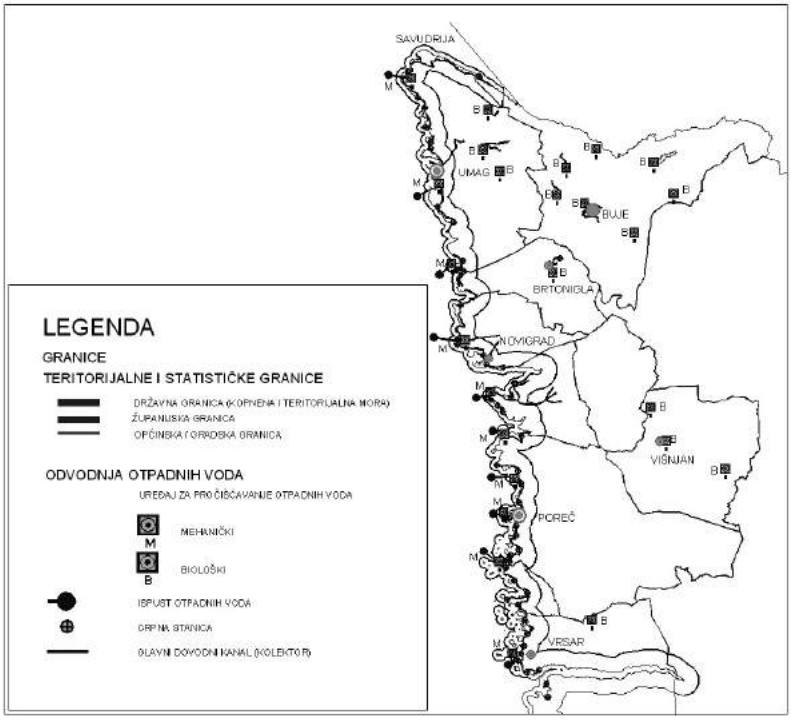
tako pročišćene vode ispuštaju bez njihova daljnjeg korištenja u priobalno more. Prikaz položaja planiranih uređaja za pročišćavanje dan je na Slici 2.



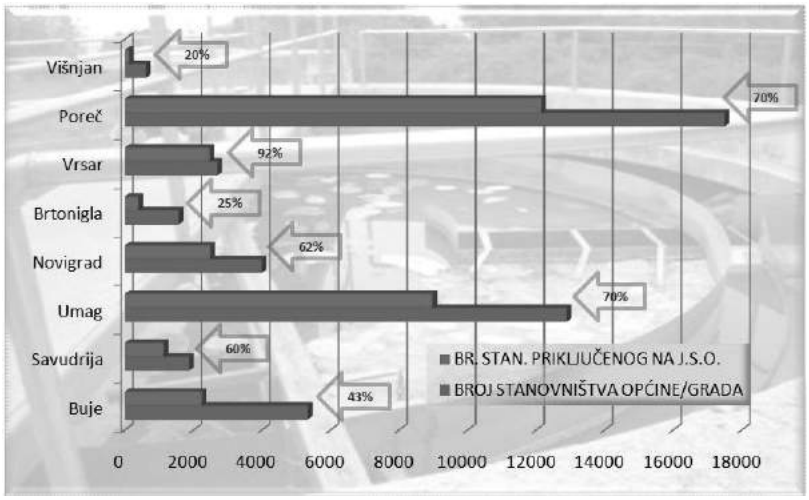
Slika 2. Shematski prikaz korištenje i prihranjivanje priobalnih krških vodonosnika pročišćenim otpadnim vodama: a) stanje precrpljivanja vodonosnika s prodorom slane vode, b) infiltracija pročišćenih otpadnih voda u vodonosnik infiltracijskim bunarima i poljima.

Iako je pročišćene komunalne otpadne vode moguće i neposredno koristiti za neku od daljnjih namjena, uključujući i navodnjavanje dijela poljoprivrednih površina, za očekivati je da bi prije svega iste mogle biti korištene za prihranjivanje mini-akumulacija, a posebno vodnih zaliha u podzemlju. Time bi se osiguralo i daljnje samopročišćavanje na komunalnim uređajima za pročišćavanje do III stupnja pročišćenih otpadnih voda, ali i ostvario za priobalne vodne resurse vrlo važan efekat zaštite od njihova precrpljivanja i prodora zaslanjenihvoda na način da se podizanjem razina podzemnih voda u priobalju, na principima Ghyben-Herzbergova zakona, pospješi potiskivanje morske vode izvan zone njihovih eksploatacijskih vodnih rezervi. Takvo prihranjivanje je moguće najuobičajenije provoditi na dva načina– putem infiltracijskih polja, kao i infiltracijskih bušotina (Slika 3.).

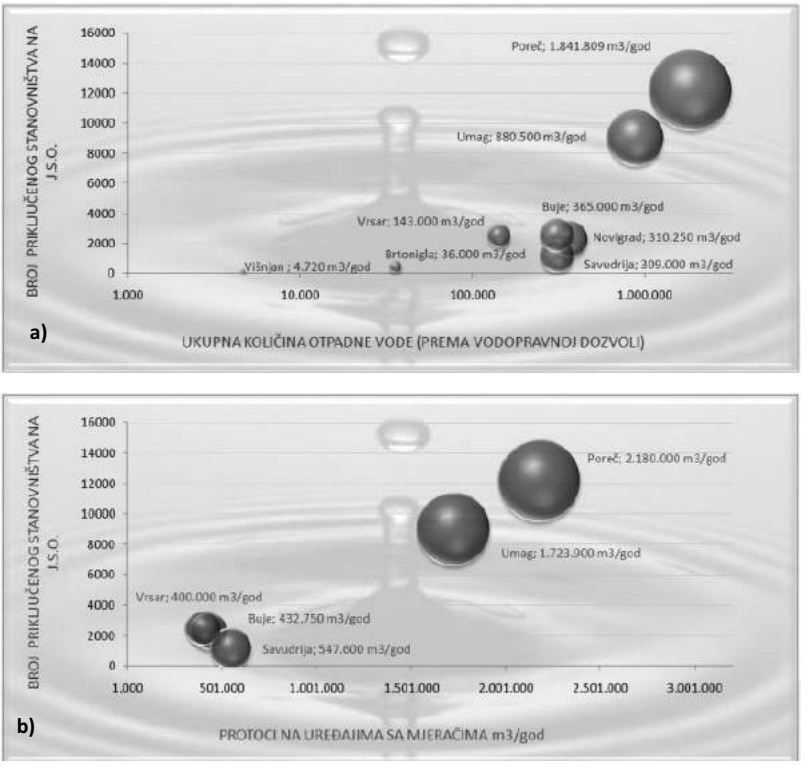
O kakvim se zalihama vode radi, i na kojim lokalitetima, vidljivo je iz danih grafičkih prikaza (Slike 4. i 5.) na primjeru prikazanih podataka o priključenosti stanovništva gradova i općina analiziranog područja na već postojeći sustav pročistača komunalnih otpadnih voda, kao i podataka o priključenom stanovništvu te količinama otpadnih voda (dozvoljenim prema vodopravnoj dozvoli) izmjerenim na samim uređajima.



Slika 3. Položaj uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na području Sjeverozapadne Istre čije se vode po izgradnji III stupnja pročišćavanja mogu višekratno koristiti (PPIŽ, 2008)



Slika 4. Prikaz broja stanovništva O/G i broja stanovništva priključenog na javni sustav odvodnje



Slika 5. Prikaz broja stanovništva priključenog na javni sustav odvodnje i a) ukupnih godišnjih količina otpadne vode (prema vodopravnoj dozvoli), b)ukupnih godišnjih registriranih protoka na uređajima

ZAKLJUČCI

Na osnovi iznesenih opisnih i grafičkih pokazatelja u ovom radu očito je da planiranje izgradnje akumulacija nije jednostavan zadatak. Unatoč brojnih planova o njihovoj izgradnji, na području Istarske županije realizirane su samo dvije velike akumulacije na površinskim vodotocima, i to s puno problema oko osiguranja njihovih planiranih namjena. Zbog složenosti lokalnih uvjeta, utjecaja koje ima izgradnja akumulacija na okoliš, kao i socio-ekonomske zahtjevnosti provedbe takvih zahvata, u njihovom daljnjem planiranju treba napustiti dosadašnji dominantan tehnokratski odnos, i u sve većoj mjeri koristiti i do sada nekonvencionalne pristupe. U tom smislu za preporučiti je vrednovanje i sagledavanje mogućnosti akumuliranja vode u priobalnim krškim vodonosnicima, čime je moguće osigurati veće korištenje podzemnog akumulacijskog potencijala tih vodonosnika, kao i njihovu bolju zaštitu od prodora zaslanjenih voda.

LITERATURA

[1] Kos, Z, (2001): Vodoprivreda gornjeg Jadrana. Adamić, Rijeka.

[2] PPIŽ (2008): Prostorni plan Istarske županije, NN76/07.

[3] Ravlić, N, (2007): Plan navodnjavanja istarske županije, IGH PC Rijeka, Rijeka.

[4] Romić, D, Marušić, J, (2005): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj, Agronomski i Građevinski fakultet, Zagreb.

[5] Rubinić, J, (2005): Aktualni vodnogospodarski aspekti razvoja navodnjavanja na primjeru hidromelioracijskog sustava Čepić polja. Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, knjiga 2, Elementi planiranja sustava za navodnjavanje (ur: Ožanić, N). Građevinski fakultet Rijeka, 249-264.

[6] Rubinić, J. (1999): Idejno rješenje razvitka izvorišta regionalnog vodoopskrbnog sustava Istre – Hidrologija. Labin, nepublicirano.

AUTORI

Ivana Mihalić Fabris, mag. ing. aedif. [a]

mr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. [b]

dr. sc. Nenad Ravlić,dipl. ing. građ.[c]

[a] Istarska županija, Upravni odjel za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodoprivredu, Šetalište pazinske gimnazije 1, Pazin, 52100, Hrvatska
ivana.mihalic@istra-istria.hr

[b] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V.C. Emina 5, Rijeka, 51000, Hrvatska, jrubinic@gradri.hr

[c] Hidroart d.o.o., Zdravka Kučića 37, Rijeka, 51000, Hrvatska
nenad.ravlic@gradri.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.19.

PRIKAZ ČIMBENIKA PRI ODABIRU SUSTAVA NAVODNJAVANJA DALJ

Duška Kunštek, Kristina Potočki, Ivana Carević

SAŽETAK: U okviru rada napravljeno je niz prostornih dispozicija tehničkih rješenja sustava za navodnjavanje Dalj, te definicija i uspostava sustava vrednovanja svakog rješenja zasebno inžinjerskom višekriterijskom analizom. Pri toj analizi uključuje se niz tehničkih, ekonomskih i ostalih bitnih čimbenika, koji direktno i /ili indirektno utječu na izbor rješenja. Zadatku provedbe odabira projektnog rješenja sustava navodnjavanja Dalj prethodila je analiza svih raspoloživih podloga kao i postojećeg stanja navodnjavanja poljoprivrednog zemljišta što je osnovni preduvjet svim daljnjim razmatranjima i definiranju prihvatljivog koncepta. Metodologija rada sadržava tri osnovna proceduralna koraka: prvi korak ispituje različitu opremu za navodnjavanje kišenjem dostupnu na tržištu, drugi korak jest izrada različitih prostornih dispozicija tehničkog rješenja cjelokupnog sustava navodnjavanja, i treći korak jest definicija i uspostava vrednovanja svakog rješenja zasebno klasičnom višekriterijskom optimizacijom.

KLJUČNE RIJEČI: sustav, navodnjavanje, optimizacija, troškovi, višekriterijska analiza

THE FACTORS INVOLVED IN THE SELECTION OF THE DALJ IRRIGATION SYSTEM

SUMMARY: The paper focuses on the spatial dispositions of technical solutions for the Dalj irrigation, on the definitions and setting up of the assessment criteria for each individual solution by means of engineering multi-criteria analysis. The analysis includes a series of technical, economic and other vital factors, which directly or /and indirectly affect solution selection. Prior to selecting the design solution of the Irrigation system Dalj, the analysis of all available documentation and existing irrigation of agricultural land was conducted. It was the basic precondition for all subsequent considerations and the definition of acceptable concept. The working methodology comprises three basic procedural steps: the first step involves different equipment for sprinkler irrigation that would be available on the market; the second step is creation of different spatial dispositions for technical solution of the whole irrigation system, and the third step is defining and establishing the assessment system for each individual solution using multi-criteria optimization.

KEY WORDS: system, irrigation, optimization, costs, multi-criteria analysis

1. UVOD

Projektiranje tehničkih rješenja sustava za navodnjavanje te odabir optimalnog vrlo je složen multidisciplinaran postupak u kojem se vrši cijeli niz analiza, u kojima se valorizira široki spektar parametara koji direktno i/ili indirektno utječu na izbor rješenja. Optimizacija tehničkog rješenja sustava navodnjavanja uključuje analizu opreme za navodnjavanje, projektiranje različitih prostornih dispozicija mogućih rješenja sustava, razradu tehnologije, potrebne kadrove, kapacitete i cjelokupne troškove pojedinih rješenja. Prema ulaznim parametrima i sustavom kriterija i bodovanja, za vrednovanje rješenja provodi se detaljna tehnička i građevinsko - ekonomska analiza. Iz realnih ciljeva koji se mogu ostvariti u poboljšanju rezultata navodnjavanja, u procesu optimizacije razlikujemo značajne (eliminacijske) i ostale masene (težinske) kriterije koji ne eliminiraju, ali daju težinu pojedinim tehničkim rješenjima.

Cilj ovog rada je izraditi optimalno projektno rješenje sustava navodnjavanja (SN) poljoprivrednog zemljišta u Dalju, sljedećim postupcima:

- analiza svih raspoloživih podloga kao i postojeće stanje navodnjavanja poljoprivrednog zemljišta Dalja što je osnovni preduvjet svim daljnjim razmatranjima i definiranju prihvatljivog koncepta,
- Izborom ekonomične i tehnički najprihvatljivije opreme za navodnjavanje
- Izradom što većeg broja kreativnih i što prihvatljivijih različitih projektnih rješenja prostorne dispozicije sustava navodnjavanja
- Primjenom odgovarajuće metodologije optimizacije

Metodologija rada sadržava tri osnovna proceduralna koraka:

Prvi korak ispituje različitu opremu za navodnjavanje kišenjem dostupnu na tržištu; u prvom redu to se odnosi na tzv. nisko-tlačnu opremu (kružno-pomične rampe – pivot sustavi i translatorno pomične rampe – sustav lineara). Još se ispituje visoko-tlačna oprema (samohodni uređaji za navodnjavanje – tifoni) koja se u pravilu nastoji izbjeći, no ipak, zbog specifičnih uvjeta, na pojedinim parcelama nema im kvalitetne alternative. Za daljnje dimenzioniranje sustava navodnjavanja odabire se ona oprema koja udovoljava zahtijevanim tehničkim karakteristikama, pritom poštujući osnovna pravila inženjerske struke, ali i zahtjeve investitora. Osim tehničkog aspekta, financijski aspekt također ima značajnu ulogu pri užem izboru opreme.

Drugi korak jest izrada različitih prostornih dispozicija tehničkog rješenja cjelokupnog sustava navodnjavanja. Dvije su glavne grupe načina uspostave transporta vode po polju za navodnjavanje, jedna grupa u odnosu na otvorene kanale, a druga u odnosu na tlačni sustav.

Treći korak jest definicija i uspostava vrednovanja svakog rješenja ponaosob klasičnom višekriterijskom optimizacijom. Pri toj analizi uključuje se niz tehničkih, ekonomskih i ostalih bitnih kriterija, koji pridružuju rang rješenju, te ocjenjuju njihove prednosti i mane u odnosu na druga rješenja.

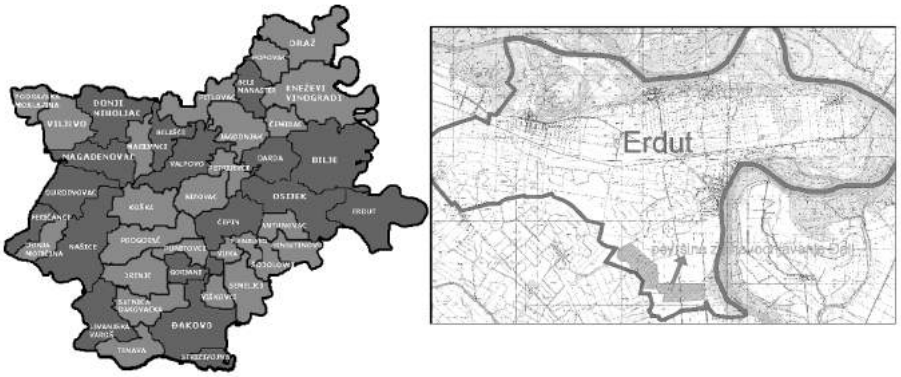
2. OPĆENITO O POLJOPRIVREDNOJ POVRŠINI DALJ I POLAZNE OSNOVE

Poljoprivredna površina Dalj smještena je sa desne obale Dunava, jugozapadno od mjesta Dalj. Administrativno pripada općini Erdut koja se nalazi na istoku Osječko-baranjske

Županije (slika 2::1). Sadašnja površina na kojoj se prostire ova bogata zemlja iznosi 389 hektara.

Izradom Plana navodnjavanja za područje Osječko – Baranjske Županije, iz 2005. godine, ostvaren je temelj za izradu idejne projektne dokumentacije sustava za navodnjavanje. Također, projektno rješenje je usuglašeno i sa ostalom prostorno-planskom dokumentacijom za to područje, Prostornim planom Osječko-Baranjske Županije i Prostornim planom uređenja Općine Erdut. Županijski plan je u skladu s usvojenim Nacionalnim projektom navodnjavanja i gospodarenja zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj (NAPNAV).

Proširena površina navodnjavanja koja ulazi u zonu zahvata ovog projektnog rješenja je 888 ha, a ova vrijednost se temelji na detaljnoj izmjeri na kartama HOK 1:5000 i DOF 1:5000, te katastarskoj karti 1:1000.



Slika 2::1 Situacijski prikaz lokacije poljoprivrednih površina Dalj

Postojeći poljoprivredni potencijal je na zadovoljavajućoj razini i brojni preduvjeti su postignuti, kao što su na primjer: uređenost zemljišta, visoka tehnologija proizvodnje, sofisticirana i snažna mehanizacija, tradicija, zaštita i obrada zemljišta, znanstvena istraživanja i njihova primjena i drugo. Jedini preduvjet održavanju i napretku ovakve proizvodnje je nestašica vode u sušnim razdobljima. Današnje navodnjavanje svodi se na primjenu mobilnih uređaja za navodnjavanje kišenjem (tifoni ili topovi) sa prenosivim agregatima, što predstavlja nesustavno rješenje navodnjavanja i kao takvo ne može zadovoljiti cjelokupne potrebe navodnjavanja.

3. ODABIR PROJEKTNE OPREME

Podjela opreme prema tlakovima:

Osnovna i najznačajnija podjela projektne opreme za navodnjavanje jest podjela na osnovu zahtjevanih radnih tlakova sustava za navodnjavanje. Tako se samohodni uređaji (tifoni) svrstavaju u visoko-tlačnu opremu čiji zahtijevani radni tlakovi iznose do 11 bara (prema tehničkim karakteristikama proizvođača opreme). Ovako visoki tlakovi su nužni za pravilno funkcioniranje uređaja unutar sustava navodnjavanja, što je energetski skupo rješenje.

S druge strane, pomične rampe (pivoti i lineari) se svrstavaju u nisko-tlačnu opremu za navodnjavanje. Potrebni radni tlakovi im se kreću u rasponu od 1,7 do 5,5 bara, pri

čemu se vrijednost 5,5 bara odnosi isključivo na pivot sustave sa ugrađenim velikim rasprskivačem (topom) na kraju (radi pokrivanja kutova navodnjavanih parcela).
Visoki tlakovi predstavljaju mnogo zahtjevnije tehničko rješenje, obzirom na dimenzioniranje cjelokupnog tlačnog sustava, ali također i neekonomično rješenje koje samo po sebi zahtijeva veći utrošak energije i u konačnici veće ukupne troškove. Zbog toga se pribjegava izboru onakve opreme za navodnjavanje koja zahtijeva minimalne, ali dovoljne radne tlakove, dakle pomične rampe (pivoti i lineari), što u startu čini jedan korak bliže u optimizacijskom postupku odabira optimalnog tehničkog rješenja.
U definiranju prostornih dispozicija tehničkih rješenja cilj je iznaći takove dispozicije gdje se na što većim površinama navodnjava niskotlačnim sustavom (pivotima), poštujući pritom sva pravila struke i uzimajući u obzir sve moguće ograničavajuće faktore. Na onim dijelovima poljoprivrednih površina gdje zbog raznih ograničenja (topografija terena, prostorne granice i sl.) nije moguće navodnjavati pivotima, razmatraju se alternativne mogućnosti navodnjavanja sustavom lineara.
Visoko-tlačna mreža cjevovoda do rubnih dijelova parcela zbog spomenute neekonomičnosti nije dobra opcija, ali se zato ispituju mogućnosti zahvaćanja vode iz postojećih otvorenih kanala za potrebe navodnjavanja tifonima.

4. PROSTORNA DISPOZICIJA TEHNIČKOG RJEŠENJA

Prostorna dispozicija tehničkog rješenja uspostavlja se u odnosu na:

otvorene kanale: a) obnovljeni (tifoni)
b) potencijalno obnovljivi (tifoni i lineri)

tlačni sustav: nisko-tlačni sustav (lineari i centar pivoti (CP))

U te svrhe izrađeno je 11 prostornih dispozicija klasificiranih u sljedeće tri grupe:

- Varijantna rješenja 1.) Prostorne dispozicije tehničkih rješenja gdje se primjenjuje samo nisko-tlačni sustav navodnjavanja; (varijantna rješenja 1.a, 1.b i 1.c)
- Varijantna rješenja 2.) Prostorne dispozicije tehničkih rješenja gdje se primjenjuje kombinacija nisko-tlačnog sustava za navodnjavanje, te navodnjavanje zahvaćanjem vode iz obnovljenih otvorenih kanala (Glavni Daljski i Trpinjski kanal); (varijantna rješenja 2.a, 2.b i 2.c)
- Varijantna rješenja 3.) Prostorne dispozicije tehničkih rješenja gdje se primjenjuje kombinacija nisko-tlačnog sustava za navodnjavanje, te navodnjavanje zahvaćanjem vode iz obnovljenih (Glavni Daljski i Trpinjski) i potencijalno obnovljivih otvorenih kanala (Savulja i njezini pritoci nižeg reda); (varijantna rješenja 3.a, 3.b, 3.c, 3.d i 3.e)

5. USPOREDNA VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA

Višekriterijska analiza varijantnih rješenja SN Dalj provodi se na jedanaest varijantnih dispozicija (opisanih u prethodnom poglavlju) kroz međusobno vrednovanje prema 12 kriterija, na način da svi kriteriji nemaju jednake težinske udjele (npr. kriterij ukupne površine navodnjavanja [ha] je eliminacijski i ima veću težinu od kriterija mobilnosti određenog uređaja za navodnjavanje kojim se ogleda brzina premještanja uređaja po terenu [kvalitativno se ocjenjuje]). Izbor najboljeg rješenja vezan za konačni cilj projekta,

a to je povećanje produktivnosti odnosno prinosa. Do tog cilja, kao primarne koristi dolazi se instalacijom čim veće navodnjavane površine [ha]. Sekundarni cilj je da se koristi iz primarnog cilja ostvare uz minimalna ulaganja.
Značajni (eliminacijski) kriteriji:
- troškovi: (ulaganja u sustav navodnjavanja) [kn]
- troškovi opreme i izgradnje sustava za navodnjavanje
- godišnji troškovi održavanja i korištenja sustava navodnjavanja

Ostali kriteriji usporedbe:
- površina navodnjavanja (izravne koristi kod dobiti) [ha]
- pojedina varijantna rješenja u valorizaciji prema ostalim (težinskim) kriterijima nije moguće kvantitativno izraziti mjernom jedinicom, već se rješenja kvalitativno ocjenjuju bodovanjem (mobilnost sustava, ciljevi i prioriteti korisnika, učinkovitost navodnjavanja, i sl.)

U okviru značajnih (eliminacijskih) kriterija sužuje se i usmjerava prostor mogućih rješenja, te smanjuje kompleksnost postupka.
U okviru ostalih kriterija za koje ne postoji opće prihvaćena mjera, izradom tablice odlučivanja primjenjuje se postupak koji kao rezultat svakoj varijanti pridružuje određenu brojčanu vrijednost te se na taj način dobije izlaz kao rang lista varijanti.

5.1 Značajni (eliminacijski) kriteriji

VARIJANTNO RJEŠENJE	UKUPNA CIJENA [kn]
1.a	19.298.691,6
1.b	18.569.840,4
1.c	19.369.879,0
2.a	19.885.164,2
2.b	19.174.296,7
2.c	20.537.276,5
3.a	19.542.047,9
3.b	19.210.760,7
3.c	18.661.002,5
3.d	18.739.372,9
3.e	18.068.737,3

Tablica 5.1::1 Ukupni troškovi opreme i izgradnje sustava navodnjavanja Dalj za sva varijantna rješenja

VARIJANTNO RJEŠENJE	GODIŠNJI TOŠKOVI ODRŽAVANJA [kn]	GODIŠNJI TROŠKOVI KORIŠTENJA [kn]	UKUPNI GODIŠNJI TOŠKOVI [kn]
1.a	267.101,2	46.423,2	**313.524,4**
1.b	255.111,7	52.913,6	**308.025,3**
1.c	273.496,1	43.700,8	**317.196,9**
2.a	277.461,8	77.607,3	**355.069,2**
2.b	265.499,2	70.626,9	**336.126,2**
2.c	283.384,4	84.430,8	**367.815,1**
3.a	296.213,4	132.516,1	**428.729,5**
3.b	305.423,9	191.394,9	**496.818,7**
3.c	307.538,9	210.082,0	**517.620,9**
3.d	306.833,2	212.800,6	**519.633,8**
3.e	308.742,9	222.557,4	**531.300,3**

Tablica 5.1::2 Ukupni troškovi korištenja i održavanja sustava navodnjavanja Dalja za sva varijantna rješenja

5.2 Ostali kriteriji usporedbe

Analiza varijanti u sljedećem koraku uključuje značajan broj ostalih kriterija koji ne moraju biti nužno objektivno mjerljivi određenom mjernom jedinicom (npr. spremnost korisnika na prihvaćanje projektnog rješenja; prednosti i mane pojedinog rješenja; učinkovitost navodnjavanja bazirana na iskustvu proizvođača opreme i sl.). Njihovo vrednovanje, pa samim time i međusobna usporedba moguća je opisnim sustavom kriterija koji putem bodovanja daju težinu svakom rješenju.

Ostali kriteriji usporedbe su sljedeći:

- mobilnost sustava navodnjavanja
- obim građevinskih radova pri izgradnji sustava (kompleksnost izgradnje)
- pripremljenost kanalske mreže za instalaciju sustava
- ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje u prostornom smislu (lineari)
- ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje u prostornom smislu (pivoti)
- stupanj automatizacije i suvremenosti sustava navodnjavanja
- mogući troškovi u uslijed neefikasnosti sustava
- ciljevi i prioriteti korisnika i investitora
- učinkovitost navodnjavanja u smislu gubitaka vode
- ukupna površina navodnjavanja [ha]

U zadnjem proceduralnom koraku metodologije optimizacije potrebno je izraditi sustav rangiranja svakog pojedinog kriterija, a paralelno s tim i sustav ocjenjivanja varijantnih rješenja. Preklapanjem ta dva “layera” dobivaju se konačne ocjene koje su, prema svojoj veličini, odlučujuća lista prioritetnih rješenja – od najgoreg (najmanja ocjena) do najboljeg – optimalnog rješenja (najveća ocjena). Time je proces optimizacije završen.

	Redni broj:	KRITERIJ:	RANG (težinski koeficijent)
ZNAČAJNI KRITERIJI	1.	Troškovi opreme i izgradnje sustava za navodnjavanje [kn]	1,00
	2.	Troškovi održavanja i korištenja sustava navodnjavanja [kn/god]	1,00
OSTALI KRITERIJI	3.	Ukupna površina navodnjavanja [ha]	0,40
	4.	Obim građevinskih radova pri izgradnji sustava (kompleksnost izgradnje)	0,40
	5.	Pripremljenost kanalske mreže za instalaciju sustava	0,10
	6.	Ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje u prostornom smislu (lineari)	0,20
	7.	Ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje u prostornom smislu (pivoti)	0,20
	8.	Stupanj automatizacije i suvremenosti sustava navodnjavanja	0,25
	9.	Mogući troškovi u uslijed neefikasnosti sustava	0,35
	10.	Ciljevi i prioriteti korisnika i investitora	0,30
	11.	Učinkovitost navodnjavanja u smislu gubitaka vode	0,35
	12.	Mobilnost sustava navodnjavanja (ogleda se u brzini premještanja uređaja za navodnjavanje po terenu, dometu uređaja, kao i svim njegovim manevrima)	0,50

Tablica 5.2::1 Sustav rangiranja kriterija težinskim koeficijentima

Sustav rangiranja svakog pojedinog kriterija provodi se pridruživanjem ranga, tj. težinskog koeficijenta. Vrijednost težinskog koeficijenta ovisi o važnosti pripadajućeg kriterija, a nalazi se u domeni od 0 do 1. Tako najveću važnost imaju kriteriji sa težinskim koeficijentom 1 (još ih zovemo eliminacijskim kriterijima), a smanjivanjem vrijednosti težinskog koeficijenta smanjuje se i njegova važnost. Vrijednosti težinskih koeficijenata se procjenjuju, a njihov tabelarni prikaz dan je u tablici 5.2::1.

Varijantno rješenje	Površina navodnjavanja [ha]		
	Opskrba vodom iz hidranata (tlačni cjevovod) [ha]	Opskrba vodom iz otvorenih kanala [ha]	Ukupno [ha]
1.a	858,9	0	858,9
1.b	849,0	0	849,0
1.c	868,1	0	868,0
2.a	733,2	128,0	866,1
2.b	738,1	128,0	861,2
2.c	733,2	136,0	859,0
3.a	486,7	387,5	874,2
3.b	379,3	508,1	887,4
3.c	314,3	577,4	891,7
3.d	302,3	589,9	892,2
3.e	267,5	622,2	889,7

Tablica 5.2::2 Kriterij usporedbe varijantnih rješenja
s obzirom na ukupno navodnjavanu površinu

Sustav ocjenjivanja varijantnih rješenja vrši dodjeljivanjem brojčanih vrijednosti rasponu od 0 do 10. Važno je napomenuti da je pridavanje ocjene pojedinoj varijanti relativno u odnosu na ostalih 10 varijanti. Tako se primjerice varijanti 3.e, koja je prema kriteriju troškova (opreme i izgradnje sustava navodnjavanja) najjeftinija (najbolja), pridaje maksimalna ocjena (10), a varijanti 2.c kao najskupljoj minimalna ocjena (0). Ostalim varijantama dodjeljuje se ocjena <10 i >0 prema ključu prikazanom u tablici 5.2::3. Svako varijantno rješenje dobiva 12 različitih ocjena (koliko iznosi broj kriterija). Optimalno je ono rješenje čija suma svih ocjena daje maksimalnu vrijednosti.
Rezultantna tablica usporedbe varijantnih tehničkih rješenja, prema rang listi gore spomenutih eliminacijskih i ostalih kriterija, dana je u tablici 5.2::4.

	R. br:	KRITERIJI:	OCJENA	
			minimalna (0)	**maksimalna (10)**
ZNAČAJNI KRITERIJI	**1.**	**Troškovi opreme i izgradnje sustava za navodnjavanje [kn]**	Najjeftinije varijantno rješenje.	Najskuplje varijantno rješenje.
	2.	**Troškovi održavanja i korištenja sustava navodnjavanja [kn/god]**	Najjeftinije varijantno rješenje.	Najskuplje varijantno rješenje.
OSTALI KRITERIJI	**3.**	**Ukupna površina navodnjavanja [ha]**	Varijantno rješenje sa minimalnom površinom navodnjavanja.	Varijantno rješenje sa maksimalnom površinom nav.
	4.	**Obim građevinskih radova pri izgradnji sustava (kompleksnost izgradnje)**	Varijantno rješenje kod kojeg je, u odnosu na ostala rješenja, najveća površina navodnjavana putem neobnovljenih otvorenih kanala.	Nisko-tlačni sustav navodnjavanja na cjelokupnom području, što je dobro i u skladu sa željama investitora.
	5.	**Pripremljenost kanalske mreže za instalaciju sust.**	Rješenje sa najvećom dužinom otvorenih kanala.	Izbjegnuto navodnjavanje iz otvorenih kanala.
	6.	**Ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje (lineari)**	Minimalno prilagođena uvjetima (pravokutnim parcelama, denivelacijama) na terenu.	Maksimalno prilagođena uvjetima (pravokutnim parcelama, denivelacijama) na terenu.
	7.	**Ocjena iskoristivosti uređaja za nav. (pivoti)**	Minimalno prilagođena uvjetima na terenu.	Maksimalno prilagođena uvjetima na terenu.
	8.	**Stupanj automatizacije i suvremenosti sustava navodnjavanja**	U najmanjoj mjeri automatiziran sustav navodnjavanja .	U najvećoj mjeri automatiziran sustav navodnjavanja (cjelokupno područje pokriveno nisko-tlačnim sustavom navodnjavanja).
	9.	**Mogući troškovi u uslijed neefikasnosti sustava**	Rješenje sa najvećom površinom navodnj. iz otvorenih kanala.	Nisko-tlačni sustav navodnjavanja na cjelokupnom području.
	10.	**Ciljevi i prioriteti korisnika i investitora**	Najmanjim djelom u skladu s ciljevima zbog dodatnih radova na obnovi otvorenih kanala, kao i zbog kompleksnosti rješenja.	Nisko-tlačni sustav navodnjavanja na cjelokupnom području, što je potpuno u skladu s prioritetima.
	11.	**Učinkovitost navodnjavanja u smislu gubitaka vode**	Najmanja učinkovitost zbog najveće površine koja se navodnjava tifonima	Nisko-tlačni sustav navodnjavanja na cjelokupnom području.
	12.	**Mobilnost sustava navodnjavanja (ogleda se u brzini premještanja uređaja za navodnjavanje po terenu, dometu uređaja, kao i svim njegovim manevrima)**	Varijanta u kojoj se u najvećoj mjeri navodnjava pivotima, zatim tifonima, a u najmanjoj mjeri linearima.	Varijanta u kojoj se u najvećoj mjeri navodnjava linearima, zatim tifonima, a u najmanjoj mjeri pivotima.

Tablica 5.2::3 Gradacija ocjenjivanja po kriterijima

Rezultantna tablica usporedbe varijantnih tehničkih rješenja, prema rang listi gore spomenutih eliminacijskih i ostalih kriterija, dana je u tablici 5.2::4.

ZAKLJUČAK

Vrednovanje rješenja provedeno je primjenom usporedne višekriterijske analize gdje je osim, težinski vrlo značajnih kriterija (troškovi opreme i izgradnje sustava; godišnji troškovi korištenja i održavanja sustava), uzet još u obzir određen broj ostalih manje važnih, ali u konačnici odlučujućih kriterija.

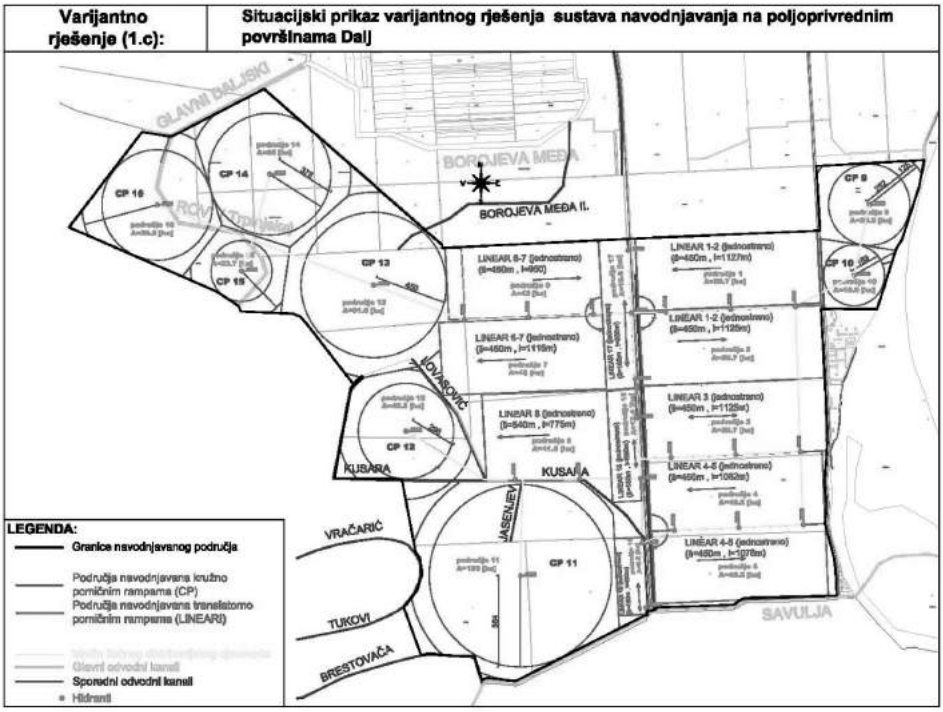
Višedisciplinarnom analizom vrlo velikog broja čimbenika, istraživanjem „nedostataka" i ‘’prednosti’’ predloženih varijantnih riješenja, stanja na terenu, ekonomskih vrednovanja i tehničkih znanja u području navodnjavanja daje se prednost jednom od ponuđenih rješenja. U ovom slučaju predložena je ***varijanta 1.c sa prostornom dispozicijom tehničkog rješenja sa primjenom samo nisko-tlačnog sustava navodnjavanja***. Ta varijanta ocijenjena je sa najvećim brojem bodova u konačnici (42,31), te je time predložena kao optimalno rješenje. Unatoč tome što varijanta 1.c nije najbolja niti po jednom eliminacijskom kriteriju zasebno, ona gledajući globalno, ima maksimalnu vrijednost funkcije traženog cilja.

Glavni ‘’nedostatak’’ izabrane varijante jest relativno niska ocjena po rangu ukupnog navodnjavanja površine zemljišta (4,4 od 10 bodova), koja iznosi 868 ha, a što čini 97,2% od 100% površine za navodnjavanje. No, sa druge strane, sve razmatrane varijante u konačnici imaju visoki postotak navodnjavane površine (95 do 100%). Stoga se utjecaj ovog kriterija na odlučivanje prioritetnog rješenja može zanemariti.

U tzv. eliminacijske kriterije spadaju i troškovi opreme i izgradnje sustava za navodnjavanje, te troškovi održavanja i korištenja sustava. Prema navedenim kriterijima, gledajući pojedinačno, odabrana varijanta odstupa za 7,2% od najjeftinije varijante (varijanta 3.e) te se to smatra povoljnim.

	R. br:	KRITERIJI:	VARIJANTNA RJEŠENJA R.br:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	RANG
			Mjerna jedinica	1.a	1.b	1.c	2.a	2.b	2.c	3.a	3.b	3.c	3.d	3.e	
ZNAČAJNI KRITERIJI	1.	Troškovi opreme i izgradnje sustava za navodnjavanje	[kn]	5.7	9.1	5.4	3.0	6.3	0	4.6	6.1	8.7	8.3	10	1.00
	2.	Troškovi održavanja i korištenja sustava navodnjavanja	[kn/god]	9.8	10	9.6	7.9	8.7	7.3	4.6	1.5	0.6	0.5	0	1.00
OSTALI KRITERIJI	3.	Ukupna površina navodnjavanja	[ha]	2.3	0	4.4	4	2.8	2.3	5.8	8.9	9.9	10	9.4	0.40
	4.	Obim građevinskih radova pri izgradnji sustava (kompleksnost izgradnje)	-	10	10	10	7.9	7.9	7.8	3.8	1.8	0.7	0.5	0	0.40
	5.	Pripremljenost kanalske mreže za instalaciju sustava	-	10	10	10	7.9	7.9	7.8	3.8	1.8	0.7	0.5	0	0.10
	6.	Ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje u prostornom smislu (lineari)	-	7	1	10	7	1	9.5	4	3.5	1.5	1.3	5	0.20
	7.	Ocjena iskoristivosti uređaja za navodnjavanje u prostornom smislu (pivoti)	-	6.5	3	9	6	2.5	6	2.5	2	2	1.5	2	0.20
	8.	Stupanj automatizacije i suvremenosti sustava navodnjavanja	-	10	10	10	8	7.9	7.7	3.7	1.9	0.8	0.6	0	0.25
	9.	Mogući troškovi u uslijed neefikasnosti	-	10	10	10	7.9	7.9	7.8	3.8	1.8	0.7	0.5	0	0.35
	10.	Ciljevi i prioriteti korisnika i investitora	-	10	10	10	8	7.9	7.7	3.7	1.9	0.8	0.6	0	0.30
	11.	Učinkovitost navodnjavanja u smislu gubitaka vode	-	10	10	10	7.9	7.9	7.8	3.8	1.8	0.7	0.5	0	0.35
	12.	Mobilnost sustava navodnjavanja	-	5	1	8.5	6	2	9	8.5	8	8	7	8.5	0.50
SUMA BODOVA:				39.12	37.9	42.31	31.98	31.65	29.42	23.67	19.47	19.24	17.79	19.41	

Tablica 5.2::4 Rezultantna tablica višekriterijske analize varijantnih tehničkih rješenja SN Dalj



Varijantno rješenje:	Odabrani sustav za navodnjavanje:							
	Kružno-pomična rampa (CP) + "corner system"				Translatorno-pomične rampe (Lineari)			
1.c	pojedini CP	radijus (bez "corner systema")	"corner system" (duljina/ pokrivanje)	navodnjavana površina	pojedini linear	širina obroka	duljina obroka	navodnjavana površina
		[m]	[m]/[m]	[ha]		[m]	[m]	[ha]
1	CP 16	342	97/125	50,2	Linear 1-2	450	2252	101,4
2	CP 14	378	97/125	65	Linear 3	450	1125	50,7
3	CP 15	189	97/125	22,7	Linear 4-5	450	2158	96,4
4	CP 13	450	97/125	92,3	Linear 6-7	450	1959	89
5	CP 12	296	97/125	46,3	Linear 8	540	775	41,6
6	CP 11	564	97/125	130	Linear 17	180	930	16,6
7	CP 9	252	97/125	29,2	Linear 18	180	690	12,4
8	CP 10	189	97/125	16	Linear 19	180	480	8,2
Ukupno:		2660	1067	451,7		2880	10369	416,3

Slika 6::1b Tehničko rješenje odabrane varijante, sa tehničkim specifikacijama sustava za navodnjavanje.

LITERATURA

[1] Kos, Z., Tomić, F., Gereš, D., Romić,D. (1999): ‘’Priručnik za hidrotehničke melioracije – navodnjavanje, II, kolo knjiga 7, Mehanizacija i oprema za natapanje’’, Građevinski fakultet Rijeka.

[2] Kos, Z. (1987): ‘’Hidrotehničke melioracije tla – navodnjavanje’’, Školska knjiga, Zagreb.

[3] ‘’Navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta’’, Društvo građevinskih inženjera i tehničara Zagreb, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb; Zagreb 1986.

[4] Tomić, F., *Navodnjavanje*. 1988, Zagreb: Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb

[5] Kos Z., Tomić F, Gereš D, Romić D.(1999): Priručnik za hidrotehničke melioracije; Građevinski fakultet u Rijeci; Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Kolo III, Navodnjavanje, Knjiga 2, str. 86-91, Rijeka

[6] Đević, M., R. Miodragović, and Z. Mileusnić, *Mobilni sistemi za navodnjavanje kišenjem*. 2002, Nacionalno naučno društvo za poljoprivrednu tehniku. p. 97-104.

[7] Beraković, B. (2009): ‘’Hidrotehnički sustavi, predavanja’’, Građevinski fakultet Zagreb.

[8] Romić, D., Marušić, J. (2005/2006): ‘’Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj (NAPNAV)’’, Separat iz Građevnog godišnjaka 2005/2006, Agronomski fakultet Zagreb i Građevinski fakultet Zagreb,

[9] Bonnaci, O, Mađar, S., Tomić, F., Romić, D. (1994): ‘’Natapanje kišenjem’’, Priručnik za hidrotehničke melioracije, II kolo Navodnjavanje, knjiga 3, Načini natapanja, Rijeka 1994. p.117-161

[10] Karleuša, B. (2002): ‘’Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama’’, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 226 str.

AUTORI

Dr. sc. Duška Kunštek, dipl.ing.građ.

Kristina Potočki, dipl. ing. građ.

Ivana Carević, dipl. ing. građ.

R 2.20.

MANAGEMENT OF WATERS AND SOILS IN SKOPJE VALLEY ACCORDING TO SUSTAINABLE AGRICULTURE

Marija Vukelic-Shutoska, Tatjana Mitkova, Mile Markoski

SUMMARY: The region of Republic of Macedonia is situated in the central part of Balkan Peninsula. This is a mountainous country with many lowlands. The average altitude of the whole territory is 850 meters. According to the Spatial Plan of the Country, 1,9% of the territory is covered by water (lakes), 19,1% are plains and valleys, and the biggest parts of 79% are hills and mountains. Valleys and plains intersect the mountainous relief structures. The most distinct valleys are those extending along the Vardar River, including the Skopje Valley (1.840 km^2). Surface waters are the most important part of the ecosystems in the country. Also, they are most spread in the space and are closest to the area of human activities. Due to the geographic location of the Republic of Macedonia, major part (84%) of the surface waters is domicile. The quantity of surface waters mainly depends on precipitation and snowmelt. The province Skopje Valley has the most comlex tectonical composition. The main characteristic is that the larger area is covered with practically impermeable rocks of so-called Eocene flysch complex, and with masses of low transissivity at the areas of volcanogenic rock. Types of soils that are most common in the Skopje area are followed: Fluvic Koluvium; Fluvisol; Gleysol; Vertisols; Soloncal and Solonec.The agriculture has very important role in the total economy of the Republic of Macedonia. In 2001 has been prepared the Strategy for Development of Agriculture to 2005 where the second place, just after industry is elaborated for agriculture in contribution to the GDP (>10%). As a result of large diversities (climate, relief, soil and water) there is a wide spectrum of agricultural production (crop production, vegetables, vineyards, orchards, livestock and others). The goal of this paper is management of waters and soils in Skopje Valley because one of the main problems in this region is flood. The most important conditions for achieving sustainable development of water and soil resources are political will, adequate financing and sound management practices. The main task in the planning and development of water and soil activities is to find optimal solutions including all present and future conditions.

KEY WORDS: Waters, Soils, Sustainable Agriculture, Management, Skopje Valley

UPRAVLJANJE VODAMA I TLIMA U SKOPSKOJ DOLINI U UVJETIMA ODRŽIVE POLJOPRIVREDE

SAŽETAK: Republika Makedonija nalazi se u središnjem dijelu Balkanskog poluotoka. To je planinsko područje s mnogobrojnim nizinama. Prosječna nadmorska visina čitavog područja je 850 m. Prema Državnom prostornom planu, 1,9% državnog teritorija pokrivaju vode (jezera), 19,1% su ravnice i doline, a glavnina preostalih 79% su brda i planine. Doline i ravnice presijecaju planinski reljef. Najvažnije doline protežu se uz rijeku Vardar, uključujući i Skopsku dolinu (1.840 km^2). Površinske vode su najvažniji dio ekosustava u zemlji. Uz to, one su i prostorno najrasprostranjenije i najbliže području na kojemu se odvijaju ljudske aktivnosti. Zbog zemljopisnog položaja Republike Makedonije, glavnina (84%) površinskih voda je domicilna. Količina površinskih voda uglavnom ovisi o oborinama i topljenju snijega. Skopska dolina ima najsloženiji tektonski sastav, s glavnom karakteristikom da je veliko područje pokriveno praktično nepropusnim stijenama, tzv. eocenskim flišem, s masama slabe provodljivosti u stijenama vulkanskog porijekla. Vrste tla koje su najčešće u skopskom području su sljedeća: koluvijalna tla, fluvijalna tla, glej, smolnice i solonci. Poljoprivreda ima vrlo važnu ulogu u cjelokupnom gospodarstvu Republike Makedonije. Strategija razvoja poljoprivrede do 2005. izrađena je 2001. godine, i tu je poljoprivreda na drugom mjestu, odmah iza industrije, prema doprinosu BDP-u od >10%. Kao posljedica velike raznolikosti na području klime, reljefa, tla i voda, poljoprivredna proizvodnja je širokog spektra (žitarice, povrće, vinogradi, voćnjaci, stočna proizvodnja i dr.) Cilj rada je prikazati upravljanje vodama i tlima u Skopskoj dolini, budući da je glavni problem te regiji hrana. Najvažniji uvjet za ostvarenje održivog razvoja vodnih resursa i tala su politička volja, odgovarajuće financiranje i dobre upravljačke prakse. Glavni zadatak aktivnosti planiranja i razvoja voda i tla je pronalaženje optimalnih rješenja koja uključuju sve sadašnje i buduće uvjete.

KLJUČNE RIJEČI: Vode, Tla, Održiva poljoprivreda, Upravljanje, Skopska dolina

1. INTRODUCTION

The Republic of Macedonia is more and more concerned with environmental protection and landscape improvement and management putting on ecological friendly agriculture and reduction of surpluses. This ecological development also means a rehabilitation of the landscape by conversion of or even taking out of production of less productive agricultural areas. The principles of the water policy in the European Union are embedded in the environment policy, which is based on pre-cautionary principles and preventive action. Environmental damage should be rectified at the source and polluters should pay. This new policy postulates an integrated water management approach, which is river basin oriented and considers as legitimate the claims of society and nature. Farmers will become more and more responsible for their nutrient balance and are limited in their disposal of agricultural pollutants through nutrient accounting systems.

Flood control is a Macedonian-wide priority, especially since the alluvial plains and lowlands are intensively occupied. The development of the water and soil environment has the priority to reduce flood peaks and risks. This includes trans-sectoral measures on water retention in the catchment to be achieved through close co-operation between regional

planning, water and soil management, environment and nature conservation, agriculture and forestry as well as development of settlements.

Sustainable development of water and soil resources implies extended criteria for planing, designing, operating and maintaining water and soil resources systems. The most important conditions for achieving sustainable development of water and soil resources are political will, adequate financing and sound management practices. Socio-economic relations in the economy must be planned in one constant process of mutual effects and adaptation to all factors of socio and economical life. The main task in the planning and development of water and soil-economical activities is to find optimal solutions including all present and future conditions.Water and soil resources management plays a definite role in the development of any society, especially in the developing world. Excess or deficit of these precious and vital resources are equally important and of concern to any responsible government. In the past the question of development was treated from an economic standpoint alone. Lately, due to public awareness towards environmental preservation the situation has changed drastically. It is not uncommon to find, even in less developed societies, examples of projects that have been restrained due to failure in passing environmental impact statements. Besides that, social and political issues tend to be more explicitly considered in the decision process. It is clear that the age of analyzing water and soil resources development plans from a quantitative point of view alone has passed.

2. GENERAL DATA

The Republic of Macedonia is a land-lock country, situated in Southern Europe in central part of the Balkan Peninsula. Total surface area of the country is 25.713 km^2, but although small in size it shows a great diversity of natural conditions. This is a mountainous country with many lowlands. Here, as in natural museum, can be seen almost all relief forms, geological formations, climatic influences, plant associations and soils which appear in European (besides soil type podzol). The average altitude of the whole territory is 850 meters. According to the Spatial Plan of the Country, 1,9% of the territory is covered by water (lakes), 19,1% are plains and valleys, and the biggest parts of 80,9% are hills and mountains. The agriculture areas cover 25% of the total territory of the country. The territory is characterized by different types of climate: continental, changed continental, sub Mediterranean, mountainous climate, as well as their various subtypes. Due to the specific conditions, a high level of biodiversity richness characterizes Macedonia. The hydrographic territory of the Republic of Macedonia is divided into four river basins: Vardar, Strumica, Crn Drim and Juzna Morava. Vardar river basin is the largest 20.546 km^2 or 79,9% and gravitates towards Aegean Sea. The water potential of the river basins depends of precipitation regime. The average precipitation sum in Vardar River basin is 700 mm. Vardar is the longest and largest river in Macedonia (301,6 km) with an average elevation at 793 m, from 2.748 m at Titov Vrv to 44 m at Gevgelija. The total annual volume of discharge at Gevgelija is 4,56 million m^3. Due to hydrographic characteristics of the Vardar river basin it is divided into Upper (above Skopje), Central (between Skopje and Veles), and Lower part (between Veles and Gevgelija). According Filipovski G. (1995) Macedonia is divided into four geotectonic entites: the Western Macedonian Zone, Pelagonian Massif, Vardar Zone and Serbian-Macedonian Massif. Skopje valley is located in the Vardar Zone.

3. MANAGEMENT OF WATERS AND SOILS IN SKOPJE VALLEY

Integrated water and soil management may be understood as a process of complex allocation of limited resources among competing uses. On top of this, the decision process involves multiple objectives and multiple decision-makers. In general the basic conflict of objectives arises between economic efficiency and environmental preservation. Moreover, in less developed countries this issue is particularly complex due to the fact that basic social welfare needs are not yet fulfilled and the world ecological conscience calls for preservation of the natural environment. There are basically three important aspects that, from a technical point of view, must be considered in integrated management. First, is fees for water use to incentive proper use and efficiency. Second, is cost allocation in multipurpose developments and third is an appropriate system for issuing permits. The latter is the basis of water management at the watershed level.

Surface waters are the most important part of the ecosystems in the Republic of Macedonia. Also, they are most spread in the space and are closest to the area of human activities. Due to the geographic location of the Republic of Macedonia, major part (84%) of the surface waters is domicile. The quantity of surface waters mainly depends on precipitation and snowmelt. Due to topographic, geological and morphological characteristics of the relief the runoff is running into the hydrographic network-rivers, streams and lakes.

Republic of Macedonia has shown a particular interest in the Skopje Valley area. Valleys and plains in the Republic of Macedonia intersect the mountainous relief structures. The most distinct valleys are those extending along the Vardar River, including the Skopje Valley with surface of 1.840 km^2 (Figure 1).

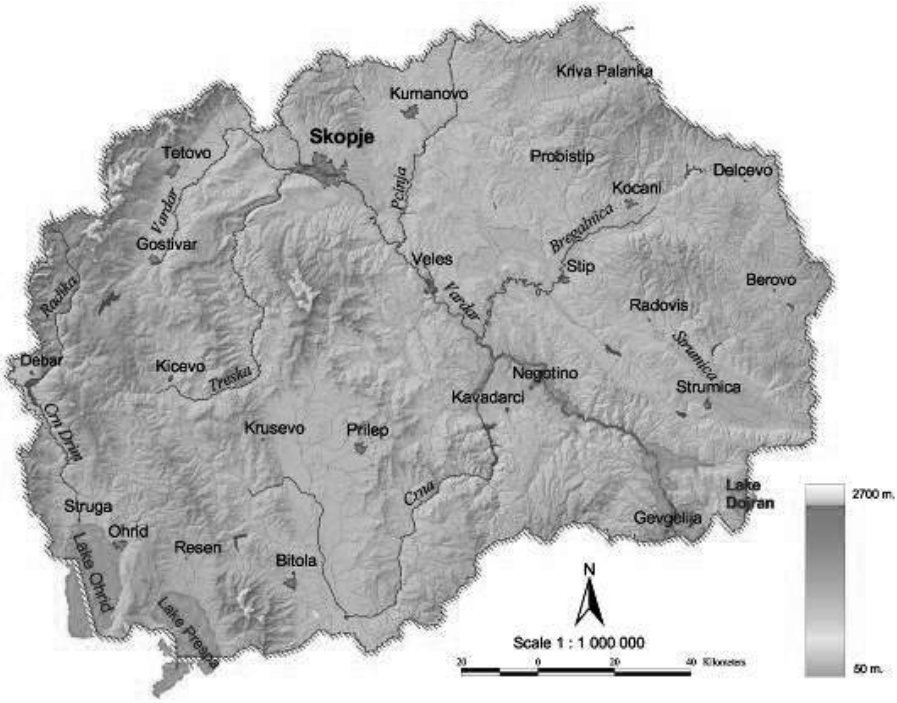


Figure 1. Skopje Valley area in Republic of Macedonia

The province Skopje Valley has the most tectonical composition. As a result of the withdrawal of the lake in the Skopje valley, lake terraces are located at different altitudes. Skopje valley from all sides is surrounded by mountains, which is one of the main features of all the valleys in the country. Geological composition in Skopje valley is quite heterogeneous (neogenic, paleogenic, alluvial and delluvial sediments). These sediments are of great importance for the formation (genesis) of the soils in the Skopje Valley.

According Filipovski G. (1996), Skopje Valley is influenced by continental-sub mediterranean climate. There, the influence of the Eastern-continental and modified Mediterranean climate is combined: rainfall is on average around 500 mm with a modified continental pluviometric regime. The drought index is 20 to 25, and the Lang's rain factor is 40.

Detailed pedological surveys of the Skopje Valley is carried out by Popovski, D. et.all (1953 and 1956), cit. from Tanaskovic V. (2009). As a result of the complex of natural resources in this region, and under the influence of pedogenic factors, several types of soil have been formed (colluvial soils distributed to 40 ha or less than 1% of the field; alluvial soils distributed to 1400 ha or 21%; chromic cambisols distributed to 360 ha or 5%; eugley distributed to 380 ha or 6%; eugley and humofluvisols distributed to 1600 ha or 24%; and halomorphic soils distributed to 800 ha or 12% of the field).

Hydrological regime in the affected River Vardar is very changeable.The maximum average flows occur usually in spring and the minimum ones in summer. A network of stations has been established for hydrological data collection. Hydro-Meteorological Administration (HMA) of the Republic of Macedonia operates 110 hydrological stations out of which 80 stations are located along the Vardar River-38 and its four tributaries. Operating conditions of the stations vary significantly, and many stations are not functioning at present. In general, the analysis of available water resources show decreasing trend.

Dependent on the local conditions different types of water management with different levels of service will be appropriate (Schultz, 1993). The need for building drainage systems and flood control structures has been present for a long time in many regions in Republic of Macedonia. It was obvious in the Skopje Valley region. According to the area of the region affected by the flood, there are regional floods and local (flash) floods. Regional floods are caused by the major rivers. During the floods in 1962, river Vardar flooded 12.735 ha. During the floods in 1979 total flooded area was 45.860 ha. Total damage costs were estimated on 193,8 million USD.

On the territory of the Republic of Macedonia, there are about 88.100 ha, which suffer from surplus surface water or high groundwater. Usually these areas are located in the flat plains of the valleys, which are in the same time high quality agricultural land. Due to this reason and need for improvement of the health conditions of the population (malaria was present in these areas in the past), many areas were drainaged and converted to agricultural land. One of the largest drainaged areas is Skopje valley with surface of 6.667 ha.

Groundwater is generally a renewable resource, however, the natural supply of groundwater is limited as to time and space. One of the most important issues in water resources research is the management of groundwater systems in order to avoid or minimize bed effects on the environment and to economic benefits. The accurate planning of water resources systems is a complex interdisciplinary problem which involves complicated environmental, ecological and economical aspects.

Additionally in the Skopje Valley, the use of agricultural soils of good quality have changed

with the spread of urbanization and infrastructure development. There are six main soil degradation processes associated with agriculture in the Skopje valley: water and tillage erosion, decline of soil organic carbon, diffuse contamination, compaction, salinisation and sodification and declining soil biodiversity.

The major drivers for water erosion are intense rainfall, topography, low soil organic matter content, percentage and type of vegetation cover, inappropriate farming practices and land marginalisation or abandonment. Soil organic carbon is a major contributor to soil fertility and general soil conservation. Soil organic carbon is the second biggest carbon pool on the planet after the oceans. Maintaining and organic carbon levels (as a specific objective of land management) is important in contributing to climate change mitigation. The natural susceptibility of soils to compaction mainly depends on soil texture, with sandy soils being least and clayey soils most susceptible. Human-induced compaction is caused by soil use and land management. The main natural factors influencing soil salinisation and sodification are climate, the salt contents of the parent material and groundwater, land cover and topography.

4. AGRICULTURE MANAGEMENT

The agriculture has a very important role in the total economy of the Republic of Macedonia. As a result of large diversities (climate, relief, soil and water) there is a wide spectrum of agricultural production (crop production, vegetables, vineyards, orchards, livestock and others).

The primary agricultural production and food processing industry participate with over 30% of the gross domestic product. The land potential for agricultural and farming production with its continental, and in some parts in the south even Mediterranean climate, with 200-240 sunny days annually, provides for the growing of a variety of agricultural produce. Agricultural production (including pastures and meadows) is organized on 1.244.000 ha or 49,2% of the total territory. Of the total of 660.000 ha of arable land, fields and gardens take 552.000 ha, 19.000 ha of orchards, 30.000 ha of vineyards, 265 ha of green-houses and 54.000 ha of pasture. Modern storage facilities and coolers with capacity of 92.000 tons, enable the preparation, conservation and storage of agricultural produce and processed food. According Cukaliev (2003) it is important to know that agricultural land in this country is predominantly private. Having in mind the traditional heritage law in the country, the average plot size decreases constantly, so average plot size, depending on data source is 0,12-0,3 ha. The transfer of agricultural population in not agricultural population and process of degradation and decreasing of the size of the farmhold are considered as negative trends, and should be solved trough better agricultural policy. The trend of decreasing of rural population is negative, long lasting trend in Republic of Macedonia. But trend of decreasing of agricultural population can not be considered as negative, especially because it is world wide trend and it is affecting farm size. Usually decreasing of agricultural population, increases farm size. In Macedonia it is opposite and it is very hard to explain.

According Patrcevic (2008) very important issue is use of arable land in agricultural production. The main issue is how land is used, but also what types of crops are dominant in the country. Finally it is of big interest to know the average yield and the areas of most common crops in the country. The total agricultural complex exports is at the average of 180-230 million US$, and represents about 20% of the total exports of the country. The biggest export items are the tobacco, wine, fresh and processed vegetables.

5. THE MAIN STRATEGIC AND REFORM OBJECTIVES

The soil has numerous ecologic functions, which are of essential importance for the environment, but also for the economy and the development of the society as a whole. The influences on soil caused by human's activities continuously increase. This leads to unsustainable level of soil erosion, as well as its chemical contamination and biological degradation.

The most influential human-induced factors are land use, farming systems, and land management, such as the use of salt-rich irrigation water and/or insufficient drainage.

Traditionally, in agriculture, soil quality is related to the production function of soil, neglecting the other functions. Most soil quality indicators need to be land use specific. Because of a lack of data, we have not been able to produce comprehensive risk assessments of the degree of soil contamination (by heavy metals and pesticides; excess nitrates and phosphates) or declining soil biodiversity.

Unfortunately to day, Republic of Macedonia has still not established monitoring of soils as a result of insufficient financial support for this complex and expensive work (Mitkova T. et.all. 2005).

Unsustainable farming practices and land use, including mismanaged intensification and land abandonment, have an adverse impact on natural resources. Today "sustainable land management" is increasingly being seen throughout the world as a key to many problems of land degradation.

According SoCo Project Team (2009), farming practices relevant for soil protection, conservation and improvement are: sustainable agriculture, conservation agriculture and organic farming. No-tillage and reduced tillage, in combination with permanent soil cover (cover crops, crop residues) and crop rotation, are essential practices in conservation agriculture. These practices minimise the risk of soil degradation by increasing the organic carbon stock, thus improving biological activity, soil fertility, soil structure and the water-retention capacity of soils. As a consequence, soil erosion and nutrient runoff are reduced (with positive effects on water quality), and soil resistance to compaction is improved. In addition, significant cost savings with respect to labour and fuel consumption are reported. Nevertheless, switching to conservation agriculture might require significant capital investment (for example, in sowing equipment) and greater attention in the use of chemicals for weed control.

Also the organic farming, although different from conservation agriculture, has similar positive effects on soil organic carbon content and soil biodiversity. Energy consumption is reduced and beneficial effects are reported on water quality, in particular with respect to pesticides (which are strictly limited in organic farming), and on above-ground biodiversity (in particular species abundance and/or richness) and landscape.

In future, it is necessary to increase the percentage of protection against floods, which will be provided by construction of protection embankments and by regulation of the water regime of the Vardar river. In addition of flood protection, in future, it is also necessary to undertake measures for preventing land erosion, such as special ways of land cultivation, afforesting of erosion-prone land, regulation of torrents, etc.

Tremendous successes have been obtained in Macedonia, but in many areas water irrigation systems function below what could be expected. Having in mind the required increase in food production in the future with the need for sustainable agricultural development a wide range of issues is of major importance. One of them is the influence of the agriculture on

water management in the conditions of agricultural pollution. Development of agriculture in Macedonia is followed by the water management plans with respect to water protection and influence of water management only. There were many factors which influenced the point abstraction of water and also the local pollution increased in much larger scale.

The Cadaster of Pollutants of Vardar River was elaborated in two phases: in the first phase, a poll was conducted through all the inhabited places and industrial facilities which are a constituent part of the urban areas along the Vardar river course, and in the second phase, based on the conducted poll, a selection of industrial capacities classified as pollutants and potential pollutants was made and complete technical documentation on the state of their waste waters was prepared. Technological and atmospheric waters are released directly into the river, and the depositing of the communal and industrial waste materials in the towns is inappropriate and not well organized (it is performed in places which do not satisfy the health department regulations so that they add to the pollution of the total environment, especially air, soil and ground water).

After the accomplishment of the Cadaster of Pollutants of the Vardar River, there exist possibilities for realization of the second phase of the Programme of Measures and Activities for Protection of the Waters of Vardar River. Against Pollution which involves elaboration of conceptual solutions for filtering of the total amount of waste waters from the inhabited places. For purpose of obtaining of the most favourable economic-technical solutions, it is necessary to elaborate several variant solutions of central filtering stations with an emphasis on measures to be taken for industrial waters.

CONCLUSIONS

The most important conditions for achieving sustainable development of water and soil resources are political will, adequate financing and sound management practices. The main task in the planning and development of water and soil activities is to find optimal solutions including all present and future conditions:

- Establishing of soil monitoring system;
- Making a map for locations where soil degradation is manifested;
- Preventing activities of negative soil degradation by implementing measures for positive anthropogenisation of soils (Strategies for the development of Sustainable Land Management, Systems Farming policy strategies);
- Knowledge about soil suitability and land capability should be available to landowners and authorities, in order to develop agriculture adapted to the local conditions. Information systems are therefore needed. These should be suited for natural resource management at the farm level, with emphasis on the risk of soil degradation and measures to reduce these risks.

Water quantity and water quality are absolutely tied together and sustainable development imposes social, political and environmental considerations at early stages of the analysis. The water sector is one of the key areas of assistance in bilateral cooperation between the German and Macedonian Government. In 2006 the Macedonian Government issued request for technical cooperation in implementation of the new Water Law, for which the responsibility has been recently tranferred from the Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy to the Ministry of Environment and Physical Planning. In order to make the new

authority functional and operative according to the new Law, the Ministry of Environment and Physical Planning (MEPP) needs assistance both in drafting secondary legislation acts and in capacity development of the new water management institution/division. There is a need for specific surveys of the present surface water situation in Macedonia. This survey will be basic information for the decision makers of the department of waters of MEPP aiming to fulfill the requirements of the EU Water Framework Directive.

It is necessary to design and create a modern, stable and dynamic agricultural sector, integration of the Macedonian agriculture into the global development processes, development of the rural areas and establishment of favourable economic conditions for the Macedonian farmers, improve the marketing of the agricultural commodities, development of the regional cooperation, and implementation of the action plan for execution of the Agreement for Stabilization and Association with the Eurepean Union. Significant improvement is achieved by carrying out the activities for reform and harmonization of the legislative to the one of the EU, as follows: private farmers are allowed to have access to public land by distributing 27.500 ha of arable land to new users, denationalization of land previously, nationalized from original owners, privatization of companies and transformation of agricultural cooperatives are in their phases, newly passed regulations now regulate usage of goods/assets of public, such as water, forests, pastures, agricultural land, fish farms and wildlife, veterinary and plant protection regulations are getting approximated with those of the EU.

According Cukaliev and others (2005) Geographic information systems coupled with remotely sensed information play a definite role in establishing a Decision Support System for waters and soils in the Republic of Macedonia. These simulation systems with no clear objectives defined generate a series of possible scenarios that can be properly analyzed by the decision-makers. Recent advances in computer technology are propitiating the frequent use of this technique for integrated water and soil resources management. Technical aspects are very important to set up a framework for systematic and rational decisions in the public sector. The aforementioned mechanisms are fundamental to implement integrated water management since they allow collecting the financial resources and prioritize water uses at the watershed level.

But the decision making process is essentially political and not technical. It is fundamental that there exists a solid legal and institutional basis for water and soil management and that the political class is well motivated by the water and soil experts. It is a symbiotic process that both sides have to exercise in order to have a successful implementation of the integrated management concept. Equally important is the participation of the organized civil society. Professional and scientific associations, environmentalists and other citizen organizations should be involved at the very early stages of the planning process.

REFERENCES

[1] Cukaliev,O., Vukelic-Shutoska,M., Arnaudova,J., Ivanov,I., (2005), *Geomatski tehniki vo Zemjodelstvoto*, MEDIANA d.o.o., Skopje, 125.

[2] Cukaliev, O., Donevska, K., Blinkov, I., Mukaetov, D., Ristevski, P., Aleksovska, N., (2003): *Capacity Self Assessment within the Thematic Area of Land Degradation and Desertification*, Draft Report, Self Assessment of Country capacity Needs for Global Environment Management, Skopje.

[3] Filipovski, G. (1995): *Soils of the Republic of Macedonia*, Macedonian Academy of sciences and Arts, Skopje, Vol.1, pg 27-28.

[4] Filipovski, G., Rizovski R., Ristevski P. (1996): *The characteristics of the climate-vegetation-soil zones (regions) in the Republic of Macedonia*, Macedonian Academy of sciences and Arts, Skopje, pp. 33-66.

[5] Lozanovski, R. (1997): *Some aspects of agroecological classification of Republic of Macedonia with direction for estimations of potential productivity of separate agroecological regions*, Proceeding of papers, Vol. 5, Skopje, pp. 17-28.

[6] Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy (2007): *National Agricultural and Rural Development Strategy (NARDS) for the period 2007-2013*, Skopje, pp. 24-77.

[7] Mitkova, T., Mitrikeski, J., (2005): *Soils of the Republic of Macedonia: Present Situation and Future Prospects*, European Soil Burean, pp. 225-234.

[8] Patrcevic, V., Vukelic-Sutoska, M., Vukelic, I., (2008): *Irrigation Development and Implementation of the Action Plan for Execution of the Agreement for Stabilization and Association with the European Union*, Lefkosa-Northern Cyprus, Regional Process of the 5-th World Water Forum, Regional Meeting on Water in the Mediterranean Basin, Near East University, Conference Proceedings 35-49.

[9] Schultz, E., (1993): *Land and Water Development. Finding a balance between implementation, management and sustainability*. Inaugural address delivered on the occasion of the public acceptance of the Chair of Land and Water Development at the International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft, The Netherlands.

[10] SoCo Project Team, (2009): *Final report on the project "Sustainable Agriculture and Soil Conservation"*, EUR23820EN, European Commission, JRC.

[11] Tanaskovic, V., (2009): *Irrigation regime of green pepper with micro-irrigation and its influence on yield and water use efficiency in Skopje region*, Doctoral dissertation. Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Agricultural Science and Food-Skopje, pg. 33-37.

AUTHORS

prof.dr.sc. Marija Vukelic-Shutoska [a]

prof.dr.sc. Tatjana Mitkova [b],

ass.mr.sc. Mile Markoski [c]

Faculty of Agricultural Sciences and Food, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Blvd. Aleksandar Makedonski bb. Skopje 1000, Republic of Macedonia,

[a] *marija.vukelic-shutoska@t-home.mk*

[b] *tatjanamitkova@yahoo.com*

[c] *milemarkoski@yahoo.com*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.21.

SOIL, HYDROLOGYCAL AND HYDROGEOLOGYCAL EXTREMES OF CURRENT IRRIGATION CONCEPT

Valery Kalinitchenko, Tatiana Minkina, Anatolij Endovitsky, Natalja Solntseva, Andrej Skovpen, Ivan Simunic, Vladimir Chernenko, Andrej Boldyrev, Artem Rykhlik

SUMMARY: The problem of current irrigation concept is imitating approach. On omission the concept suppose frontal laterally the same water delivering to the soil continuum by gravitation. The long-term regime researches of irrigated soils are fulfilled within last 50 years in South of Russia on irrigated chernozem and chestnut soils.

The humus losses in arable horizon of chernozem after 30 years of irrigation with stale water 0,4-0,6 g/l have made 15 %, and at irrigation with mineralized water 2,4-2,9 g/l 22-23 % accordingly. The irrigation of saline chestnut soil complexes courses the geochemical scope of a landscape grows up to 4-10 times.

Chernozems and chestnut soils complexes being irrigated become locally hydromorphic, saline and are characterized with strengthening of structure of soil cover variability. The great amount of irrigation water (expert assessment – up to 85% of delivering) transfers into ground water. The necessary equilibrium of water and air in soil 50-50 under standard irrigation concept can't be achieved. The system long-term lacks of the current irrigation concept is revealed.

The laterally differentiated pulse concept of irrigation is proposed. It permeates 3-5 times reduction of irrigation water consumption, irrigation soils and landscape salinization excludes. Global problem of fresh water preservation under the climate change threats is provided.

KEYWORDS: long-term regime of irrigated soils, biogeosystem sequence, landscape humidifying, irrigation concept change

TLO, HIDROLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI EKSTREMI POSTOJEĆEG KONCEPTA NAVODNJAVANJA

SAŽETAK: Provedenim istraživanjima imitiran je problem aktualnog koncepta navodnjavanja, izostavljanjem koncepta pretpostavljene lateralno frontalne raspodjele vode prema gravitacijskom kroz profil tla. Istraživanja dugoročnog režima navodnjavanja tala provedena su u proteklih 50 godina na jugu Rusije na navodnjavanom černozemu i distrično smeđem tlu.

Gubitak humusa u obrađivanom černozemu nakon 30 godina navodnjavanja ustajalom vodom 0,4-0,6 g/l iznosio je 15%, a kod navodnjavanja mineraliziranom vodom 2,4-2,9 g/l iznosio je 22-23%.

Navodnjavani kompleksi černozema i distrično smeđih tala postaju lokalno hidromorfni, zaslanjeni, a karakterizira ih povećanje varijabilnosti pokrova tla. Velika količina vode za navodnjavanje (stručna procjena – do 85%) slijeva se u podzemne vode. Potrebnu ravnotežu vode i zraka u tlu od 50:50 prema standardnom konceptu navodnjavanja nemoguće je postići, a pokazali su se i dugoročni nedostaci sadašnjeg koncepta navodnjavanja.

Predlaže se lateralno diferenciran koncept pulsnog navodnjavanja koji omogućuje 3-5 puta manju potrošnju vode za navodnjavanje, uz izbjegavanje zaslanjenja tla (time i krajolika). Time se pridonosi rješavanju globalnog problema očuvanja slatke vode pod prijetnjom klimatskih promjena.

KLJUČNE RIJEČI: dugoročni režim navodnjavanog tla, biogeosistemski niz, vlažnost krajolika, promjena koncepta navodnjavanja

1. INTRODUCTION

The problem of irrigation is the strong need for change of imitation approach to the scientific substantiation, development and practice of artificial soil humidifying and soil desalinization. The basic defect of imitation approach to irrigation is its generality for the soil continuum. Water delivery mode for irrigation or washing out of salts is the same for each part of soil continuum of artificially watered land plot as a whole (Antipov-Karataev et al, 1935; Kovda, 1987; Sadimenko, 1966).

From the geological point of view, the irrigation is an attempt to change instantly the mode of biogeosystem's stagnation having provided a sharp gain of its bioproduction by additional humidifying. By virtue of previous complex of conditions of soil development at insufficient or even poor humidifying the homeostasis of such type of biogeosystem usually develops so, that this system has the significant reserve of elements of a plant nutrition for future long-term irrigational agriculture caused by their accumulation in previous geological stages of lithosphere, as well as the nature reserve of soil agrophysical properties stability.

The irrigational total change of water regime of soil continuum as a whole alters redundantly the initial soil cover stability. The great amount of irrigation water (expert assessment – up to 85% of delivering) transfers into ground water. The necessary equilibrium of water and air in soil 50-50 under standard irrigation concept can't be achieved. The excess leaching of soil influences its structure, mineral and organic composition, great losses of substances from soil, increase of vertical and lateral water and salt transfer onto the soil continuum appears. It reveals the system long-term lacks of the current irrigation concept. From this point of view, the well known adverse consequences of the current stage of irrigation development even under the use of modern subsoil and drop ways of soil humidifying are not individual, but the system lacks of the current irrigation concept (Sudnitsin, 2008). The new irrigation concept based on soil continuum approach to irrigation on an example of steppe and dry steppe long-term irrigated soils of South Russia is discussed.

2. MATERIALS AND METHODS

Objects of the researches. Geographical region - the South of Russia, the Lower Don.

The objects of research are the main soil types of steppe zone of South Russia – chernozem and chestnut soils. The steppe zone is the region of chernozem formation and the dry steppe zone is the region of chestnut soils formation.

The properties of soils (0-25 cm of upper layer) are as follow: calcareous chernozem – C_{org} 2.3%, exchangeable cations (mmol/kg): Ca 280, Mg 100, Na 7, pH 7.6, $CaCO_3$ 0.9%, clay 61.3%; chestnut soil – C_{org} 1.5%, exchangeable cations (mmol/kg): Ca 260, Mg 70, Na 16.8, pH 7.7, $CaCO_3$ 1.5%, clay 58.9%.

Types of a relief are various. The microrelief having a natural and anthropogenous origin is advanced. The basic parent rock: yellow-brown heavy structural clay, red-brown Scythian clay, loams. The top horizons of soils are submitted by various variants of the organization: clay, loams easy and heavy, sandy loams.

Climate continental, droughty, unstable humidifying, the period without frost duration 165-175 days per year average, some years up to 240 days. The sum of daily average temperatures of air higher than 10°C makes to 3400-3450°C, hydrothermal factor is 0.3-0.7. Along with steppe kinds of vegetative communities the over moistened soils are widely submitted by corresponding plants.

The soils irrigated by standard ways and corresponding rainfed soils were studied. The long-term regime researches are fulfilled within last 50 years in conditions of soil-meliorative stationary experiments on key sites (32 sites in total). The irrigation of prevailing territory is carried out by fresh water from the river Don. Partly chernozems are watered with mineralized water from Veselovsky storage lake. Irrigation water quality is characterized by table 1.

Water source	Dry residual, g/l	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	pH
River Don	0,419	0,0	0,184	0,049	0,079	0,067	0,012	0,37	7,6
Veselovsky storage lake	2,048	0,0	3,10	19,40	9,31	6,20	8,60	17,01	7,8

Table 1 Irrigation water contents, mmol/l

Irrigation - superficial, overhead. Hydro-geological conditions - the level of subsoil water from 2-4 up to 20 m, differs on individual key sites. Variants of soils use - constant irrigational culture, alternation of an irrigational and rainfed agriculture. Term of supervision - from 8 till 50 years on various key sites.

Methods of the researches: The geomorphological, physical, chemical and agrochemical properties were investigated by standard methods (Arinushkina, 1970; Base of soil physics, 1986; Total geomorphology, 2006): geomorphology and relief; parent rock; topography of a soil surface; atmospheric precipitation, layer of artificial watering; depth of soil watering; subsoil waters depth and chemical composition, morphological structure of a soil profile, soil mechanical structure, agrophysical properties of soil: structure, density, humidity, water-durability of soil units; chemical and agrochemical properties: salinization, exchange cation composition, humus quantity, macrocells and microcells, including heavy metals; mineralogical structure: oozy fraction; a total chemical compound by the

method of the x-ray fluorescent analysis; x-ray diffraction analysis; the basic clay minerals in fractions <0,001 mm contents; SCS; biological efficiency of plants; mathematical data processing.

3. RESULTS

Chernozems. Chernozems are formatted on loams and heavy loams and have corresponding mechanical structure. Under the long-term irrigation period of mechanical structure of chernozems is changed. The top part of arable horizon of long-term irrigated chernozem is enriched with fine sand particles. An increase of quantity of oozy particles in arable horizon due to an intensification of process of clay formation appears (Khitrov, 2008).

The long-term irrigated chernozem is characterized by eluvial distribution of silt and eluvial-illuvial distribution of fraction of the aggregated silt. This fraction occupies leading position in compares with others subfractions of silt. In over moistened irrigated chernozem accumulative character of distribution of the silt, the aggregated silt and dominating among aggregated silts subfraction the aggregated silt 1 is observed. In arable and under laying horizons of irrigated chernozem in comparison with calcareous horizon and parent rock the substantial growth of fraction of aggregated silt 1 on 25 … 33 % is identified. The merged horizon of over moistened chernozems has a little bit raised contents of the aggregated silt 2 and 3 subfractions.

In oozy fraction structure of chernozem the dioctahedron illit, illit-montmorrilonite mixing-layer structures; chlorite and minerals of porcelain clay group are presented. The reflexes areas of minerals were revealed. The total chemical compound of oozy fractions of chernozem reveals the contents of illit corresponds to distribution of K_2O in total chemical compound of oozy fraction.

The dependence between diffraction intensity of reflections 7.1 and 4.74 Ĺ of initial samples is rectilinear. It allows to assume that the properties of both not irrigated and formerly irrigated chernozem on clay 7 Ĺ minerals are submitted not so much by two-layer structures. Both soils properties are influenced by chlorites mostly. The true content of kaolin in structure of oozy fractions of rainfed chernozem and irrigated chernozem is insignificant.

In oozy fraction of chernozems the relative kaolin accumulation and the quartz content raise in structure of oozy fraction of the top soil horizons under the influence of irrigation are observed. The intensity of total size of reflexes of clay minerals and an intensity of reflex 4.26 Ĺ ratio testifies an increase of SiO_2 content and molarity ratio of SiO_2/Al_2O_3 in the top part of a soil profile and in arable horizon of irrigated chernozem in comparison to not irrigated chernozem.

The profile differentiation of separate groups of clay minerals of chernozem calcareous horizons as a result of illitization processes (Solntseva et al., 2006). The illits large fractions physical crushing to the size of the oozy particles occurs. This process most intensively proceeds in the top horizons of soil. Under the ifluence of irrigation the chernozem's clay material transformation is revealed. Some distortion of structures of mixing-layer illit-smektit in arable and under laying horizons appears.

The long-term imitation irrigation is the course of change of physical properties of chernozem. In long-term irrigated chernozem which is formed on loam the probable tendency of soil compaction is revealed. Compaction of arable horizon of irrigated chernozems and locally over moistened chernozems is caused by stale irrigation water mainly. It leads to

transformation of composition and structure of soil. Under agrotechniques the soil compaction increases.

Compaction of the top meter layer of soil increases for 0.13-0.15 g/cm^3. Thus, porosity decreases down to 46-48% against 51-52% of rainfed soil. In conditions of long-term irrigation the soil water infiltration rate decreases 1.5-2.0 times.

In long-term irrigated chernozem the illuvial-calcareous horizon is formed. In rainfed chernozem this horizon is not observed. In arable and lower horizons of long-term irrigated chernozem as well as in previously irrigated chernozems an authentic decrease of CO_2 contents of calcareous and displacement of border of soil boiling up from HCl downwards on a soil profile is revealed. Some decrease of pH is observed. The change of soil cation exchange capacity is not revealed. The structure of soil absorbing complex has some gain of absorbed Na^+ share.

The highly mineralized subsoil water of chloride-sulphate calcium-magnium-natrium chemical composition locally promotes the secondary accumulation of plaster and accumulation of toxic salts. It causes the soil salinization of irrigated territory, soil continuum and landscape as a whole (Kalinitchenko et al., 1989).

The soil dry residual in irrigated chernozems varies from 0.05 up to 0.14 %. The dry residual of saline chernozems makes from 0.37 up to 0.51 %, salinization chemistry type is sulphate or chloride-sulphate. In a layer of 0-25 cm on the soil key sites irrigated with mineralized water the solid residual varies from 0.117 % up to 0.151 %, in a layer 25-50 cm the dry residual varies from 0.171 up to 0.287 %, pH parameter varies from 7.4 up to 8.6.

In irrigated soils the absorbed sodium content is 2.9-8.8 %. It testifies the presence of solonetzic kinds in soils cover structure researched. Calcium in soil is mobile under irrigation. The process especially reveals under watering with mineralized waters in which sodium prevails under calcium. Thus, the irrigation processes of calcium leaching and washing away is rather intensive.

The quantity of humus in irrigated chernozems arable horizon varies considerably, changes depending on terms of irrigation, salinization degree, salinization chemistry type of irrigation water, salinization chemistry type of soil and other factors (fig. 1).

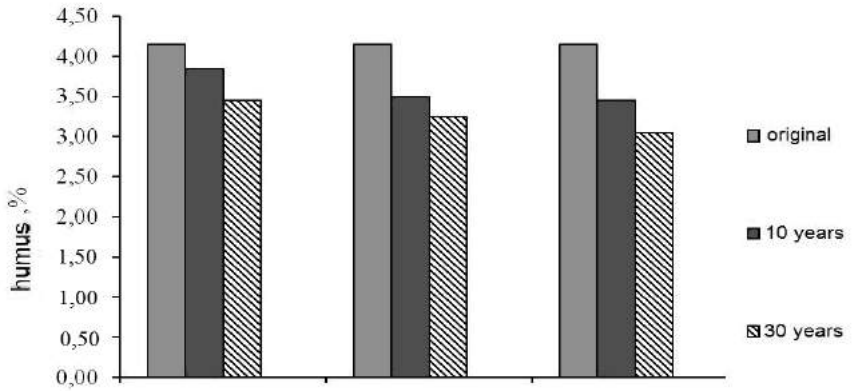


Fig. 1 Dynamics of humus in chernozem in layer 0-30 cm under irrigation with mineralized water

The losses of humus in arable horizon of chernozem under irrigation with stale water from river Don after 30 year irrigation period are 15 %. In the same soil layer at the same period the losses of humus under irrigation with mineralized water from Veselovsky storage lake (river Manych) are 22-23 % accordingly. At the same time and soil the humus quantity in a soil layer 0-50 cm decreases appreciably. Redistribution of humus from arable horizon into the deep soil layers is revealed.

Profile changes of a soil absorbing complex (SAC) of chernozem at irrigation are presented in fig. 2. In structure of SAC calcium (72.3-81.7 %) and magnesium (15.4-20.9 %) prevail, but the quantity of sodium is dangerous.

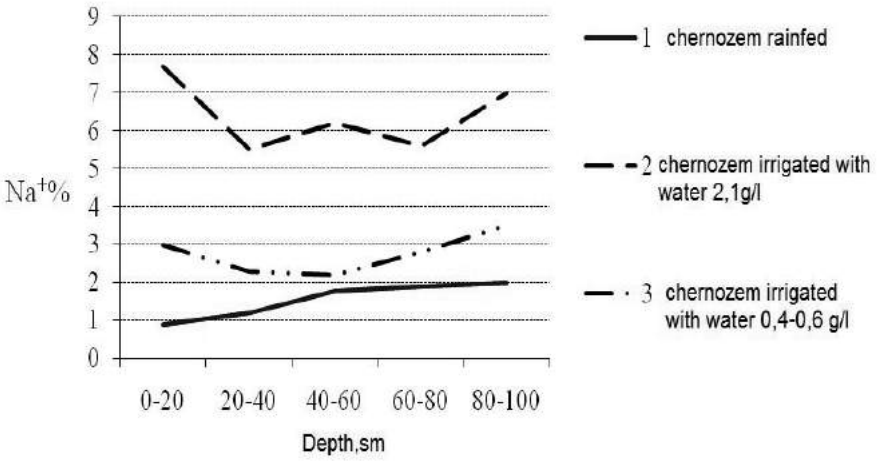


Fig. 2. Adsorbed Na^+ in chernozem.

As a result of irrigation chernozems irrigated locally hydromorphic are characterized by strengthening of SCS variability. Irrigational SCS is caused by differentiation of humidifying of a surface of soil continuum elements. Low moistening of positive forms of microrelief and deep moistening of negative forms of a microrelief due to a runoff from these adjoining surfaces. The high-contrast SCS forms. The contrast of SCS increases during the irrigation due to local differentiation of soil, parent rock irrigation soil structure recombination and laterally differentiated soil compaction under over moistening as well (Skovpen, Kalinitchenko, 2006).

Biological efficiency of chernozems after the termination of irrigation within 3-8 years of recommended rainfed agriculture is 15-25 % less that of not irrigated analogues.

Chestnut soil. Not irrigated chestnut soil is salted at higher degree. The complexes of chestnut soils are characterized by SCS differentiation. Soil combination of chestnut soil, chestnut solonetz, meadow-chestnut soil is submitted. As a result of irrigation and especially a long-term irrigation the complexes chestnut soils degrades. The origin of degradation is about the same to chernozems, but the degradation degree is much more intensively.

The parent rock of chestnut soil is saline. The ready soluble salt were accumulated during the last geological periods and now lays on the depth of 0.4-0.9 m in quantities up to 1-2

%. At present rather dry geological period in rainfed conditions the readily soluble salts are isolated from an active water mode of a zone of aeration. Salinization of chestnut soil is rather relic. The salts influence soils differently in accordance to their depth and equilibrium.

The influence of salts on soil formation process under irrigation increases. As a result of irrigation the chestnut soil complex geochemical landscape scope grows up to 4-10 times, thus readily soluble salts are involved in active geochemical process. The total salinization of soil complex amplifies sharply.

The SCS differentiation grows as well. The process is caused by intensive lateral salt transfer under the influence of spatial heterogeneity of irrigated territory hydrological mode. The heterogeneity of a hydrological mode of irrigated territory is linked to lateral heterogeneity of watering of a soil complex and redistributions of water on a microrelief. In its tern a high degree of lateral watering heterogeneity of soil complex and redistributions of water on microrelief elements appears.

An intensive lateral water and salt transfer cause deep SCS lateral differentiation. Involving into the soil mass transfer not submitted to ion complexes readily movable ions Na^+ and Cl^- migrate with a soil solution to rather low moistened microrelief sites of irrigated territory. Thus the increase of local salinization and solonetz formation in soil complex promotes.

Subsoil water are salted up to 10 g/l and more, pH = 7.8-8.1. This have a chloride-natrium chemical composition. Subsoil water has a weak outflow owing to low plain relief. After introduction of irrigation the level of subsoil water quickly rises. In these conditions SCS became deeply differentiated. Then landscape degrades, biological efficiency of soil complex has reduced. An irrigational effect appears to be the short-term and now is lost utterly.

The dry steppe zone feature is small superficial drain, small runoff. The hydrographic network is poorly advanced. In summer period the hydraulic flow of the rivers is small.

On weakly developed hydrological background irrigational losses of water are rather appreciable. Delivered from the river Don good quality fresh irrigation water converts into mineralized 0.6-2.3 g/l superficial and highly mineralized up to 18.0 g/l subsoil and drain flow.

Irrigation strongly affects landscape changes (fig.3).

All the processes considered were promoted on a background of recombination of soil structural separateness compactions, suffosion, leaching and local soil superficies settles transformation of a soil complex and degree of chestnut soil complex irrigation degradation had been strengthened. As a result of irrigation in the beginning of 90th years of XX century the possibility of further operation of irrigated site had been lost. Till now the site is in the state of rehabilitation in conditions of long fallow and rainfed agriculture.

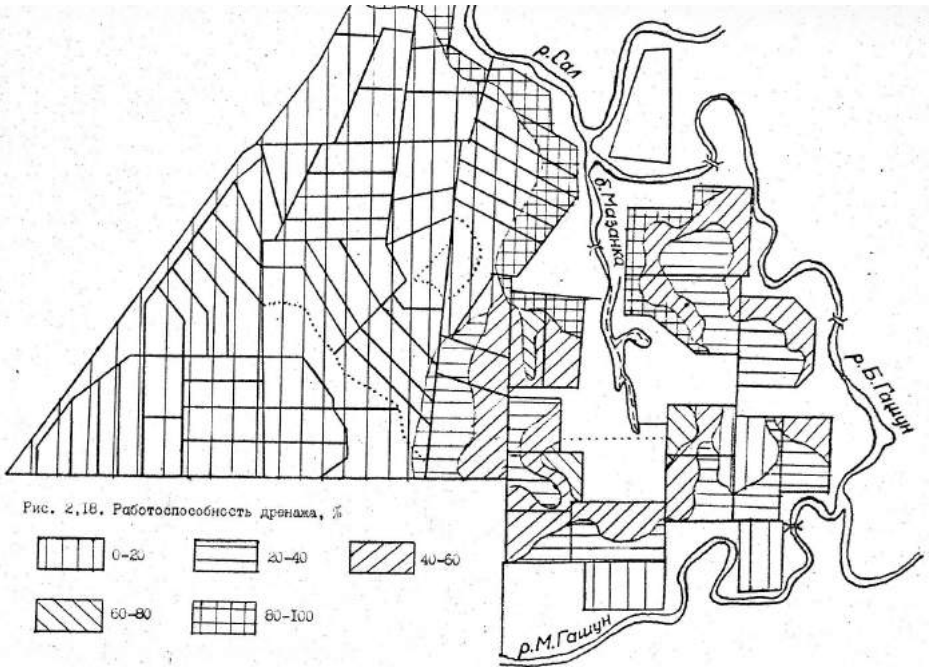


Fig. 3. Irrigation landscape. Complex of Chestnut soil and Solonetz. Drainage working capacity, % (1990 year)

4. DISCUSSION

At the area of chernosems and chestnut soils the geochemical landscape scope is high. Therefore, irrigation landscape influence is significant. For example, mineralization of water in river Sal (inflow of river Don) after start-up of Higher-Sal Irrigation Systems (about 30000 ha) in 60th years of 20 centuries in summer period in the range line of main collector of system has decreased from initial data 4-6 g/l down to 1,5-2,5 g/l in 90th of 20 century (Kalinitchenko, Minkin, 1993).

Hydro-geological conditions, caused by application of standard ways of irrigation on the individual soil key sites, renders an adverse influence on a soil salinization degree, both chernozems, and chestnut soils. The examples of biogeosystem sequence under the indignation of an irrigational excess of humidifying are revealed.

The irrigation results in adverse changes in soils and landscapes. There is an opinion, that negative results of nature use management should be overcome by more careful execution of traditional irrigational technologies. The various procedures of soil restoration of irrigational agriculture soil and landscape losses are offered (Shchedrin et al., 2008).

Gravitational effects of lateral redistributions of water on nano-, micro- and mesolevel of soil continuum follow the thermodynamics of movement of water in ground by the gradient of water thermodynamic potential.

During gravitational penetration of moisture through the ground the recombination of soil structural separateness under influence of watering is taking place. A current speed of

water filtration in soil avalanchely falls, speed of the unsteady process of penetration of water into soil decreases, a positive feedback forms. The front of moistening is formed. A gravitational piston mode of water movement appears.

Reduced irrigation norms to prevent the irrigational loss of soil structure were suggested (Kovda, 1987). Some individual improvements of irrigation standard are proposed to apply.

The soil salt profile is caused as well by other major feature. The process of migration of salts through a soil profile depends not only on soil humidity, but is caused by ionic structure of a soil solution migrating and parameters of multilevel hierarchy of capillary system of ground. At low soil humidity transfer of ions of salts is determined by their interaction with a soil capillaries surface, the charge of a firm phase of soil and the size of a capillary. It result to that the priority agent of transfer are dipoles and ions of water, and ions of readily soluble salts are late, braked by a superficial charge of capillaries and lag behind the general convection-diffusion mass transfer stream (Kalinitchenko, Minkin, 1993).

The state of water into a thin superficies films on soil structural separateness affect the water transfer into soil. Against macrowater, water of thin surface films on soil structural separateness does not dissolve some salt. Besides water at low humidity moves in ground mainly as vapor, concentration of readily soluble salts in which is small.

At high humidity of soil in conditions of irrigation an unobstructed intensive convective flow of salts to a zone of evaporation is taking place. The mass transfer in soil at high humidity, salts mass transfer including, is determined by salt concentration of a solution only and goes free. The great amount of irrigation water (expert assessment – up to 85% of delivering) transfers into ground water (Iljinskaya, Shkodina, 2009). Soil washing out from readily soluble salts, and, especially, prevention of secondary soil salinization at imitating ways irrigation, demands not huge washing norms, or a washing mode of an irrigation, but correct management of soil desalinization process only.

Instability of soil units under over moistening leads to soil water flow direction instability. This flow on a background of the general tendency of descending movement of water in soil gets its stochastic lateral recombination caused by soil units. It results to nano diversity of soil watering, to formation of preferable flows of a soil moisture (Zatinatskij et al, 2007), to their merge and therefore loss of water from soil deep into the parent rock. The hydrological mode of a soil combination gets lateral heterogeneity which from the point of view of its stability is dangerous (Khitrov, 2008; Minkin et al., 1986).

Reduction of irrigation norms previously proposed is an illusion of better water regime of soil. The essence of water negative influence on soil and its substances under such irrigation norms remains the same. The necessary equilibrium of water and air in soil 50-50 under standard irrigation concept can't be achieved. The system long-term lacks of the current irrigation concept is revealed.

CONCLUSIONS

The consequences of irrigation observed are not individual lacks (Sudnitsin, 2008). Compaction, salinization, humus loss, differentiation of SCS are the system defect of existing imitating irrigation concept.

The main reasons to decline the imitating irrigation concept are: The imitating approach to a scientific substantiation, development and practice of artificial humidifying and desalinization of soils which basic defect is a general for the soil continuum as a whole mode of water delivery for irrigation and washing out of salts.

1. The lateral stereotyped piston vertical convection-diffusion water salt transfer through the soil at watering and washing out of a soil continuum.
2. Under standard irrigation concept the necessary equilibrium of water and air in soil 50-50 is unachievable.
3. The irrigational gravitational descending and ascending soil and landscape mass transfer, which causes irrigational loss of significant products from modern biosphere cycle, and, on the contrary, enrichment of soil and landscape by harmful for their properties products of the last geological stages of biosphere.
4. The dangers to biosphere from change of a climate and of fresh water deficiency under standard irrigation concept.

It is strongly needed to accelerate a synthesis of biomass, stabilize biologically water, structural, salt and nutrition effects in soil and landscape by abolition of imitation irrigation concept. The dangers to biosphere from change of a climate and fresh water deficiency will be weakened.

REFERENCES

[1] Antipov-Karataev I.N., Filippova V.N., Komarova N.A. (1935): Research on influence of an irrigation on salt structure and physical and chemical properties of soil. In: Works of the commission on irrigation. M. - L. V. 4, p. 7-118.

[2] Arinushkina E.V. (1970): Handbook on the Chemical Analysis of Soils, Moscow: Publishing house MGU.

[3] Base of soil physics /edited by Voronin A.D. (1986), Moscow: Publishing house MGU.

[4] Iljinskaya I.N., Shkodina O.P. (2009): Water drain rates fixing – the factor of rational water use: The ways of irrigation efficiency rise. Russian Scientific-Research Institute of Melioration Problems. Novocherkassk. V. 41. p. 74-84.

[5] Kalinitchenko V.P., Onufriev A.F., Minkin M.B. (1989): Monitoring of irrigated soil. Soil science №8: 54-63.

[6] Kalinitchenko V.P., Minkin M.B. (1993): Transformation of structure of a soil cover under irrigation. Soil science. №1: 70-76.

[7] Khitrov N.B. (2008): Approach to a retrospective estimation of change of a condition of soils in time. Soil science. №8: 899-912.

[8] Kovda V.A. (1987): The factors of chernozem's fertility lowering, and measures of their elimination. In: Mechanization and electrification of an agriculture. №3: 3-6.

[9] Minkin M.B., Kalinitchenko V.P., Sadimenko P.A. (1986): Regulation of a hydrological mode of complex solonetzic soils/ Rostov-on-Don: Publishing house RGU.

[10] Sadimenko P.A. (1966): Soils of a southeast of the Rostov area. Rostov-on-Don:

Publishing house RGU.

[11] Shchedrin V.N., Vasiljev S.M., Borodychev V.V., Saldaev A.M., Andreeva T.P. (2008): Way of land improvement of irrigated chernozems. The patent of the Russian Federation №2324331. Application №2006133800/12. Priority from 21.09.2006.

[12] Skovpen A.N., Kalinitchenko V.P. (2006): Long-term dynamics of properties of chernozems in conditions of irrigation. In: Proceedings of Higher Education Institutions. North Caucasian region. Natural Sciences. №11: 83-87.

[13] Solntseva N.G., Kalinitchenko V.P. (2006): Variation of structure of clay minerals of locally over moistened soil. In: The Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences, №3: 39-41.

[14] Sudnitsyn I.I. (2008): Whether "improvement" of soil leads to their "deterioration"?. Soil science, №9: 1132-1133.

[15] Total geomorphology /edited by Richagov G.I. (2006) Moscow: Publishing house MGU.

[16] Zatinatskij N.V., Zejliger A.M., Guber A.K., Khitrov N.B. (2007): Research of preferable streams of a moisture in meadow chernozem soil of the Saratov Volga Left Coast Land. Soil Science. №5: 585-599.

AUTORI

Valery Kalinitchenko[1]
Tatiana Minkina[2]
Anatolij Endovitsky[1]
Natalja Solntseva[1]
Andrej Skovpen[3]
Ivan Simunic[4]
Vladimir Chernenko[3]
Andrej Boldyrev[1],
Artem Rykhlik[3]

[1] South Russia Institute of Soil Fertility, Don State Agrarian University, Persianovka, Rostov-on-Don region, Russia.
E-mail: kalinitch@mail.ru

[2] Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia.
E-mail: minkina@sfedu.ru

[3] Don State Agrarian University, Persianovka, Rostov-on-Don region, Russia.
E-mail: instit03@mail.ru

[4] Faculty of Agriculture, Department of Soil Amelioration, Zagreb, Croatia
E-mail: simunic@agr.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.22.

UROD SOJE (GLYCINE MAX (L.) MERR.) I ISPIRANJE DUŠIKA U NAVODNJAVANJU I GNOJIDBI DUŠIKOM

Marko Josipović, Aleksandra Sudarić, Ivica Liović, Jasna Šoštarić, Monika Marković, Hrvoje Plavšić

SAŽETAK: U radu je istraživan učinak navodnjavanja i gnojidbe N na urod zrna soje i ispiranje N, na humofluvisolu, nekarbonatnom sa sortom soje Anica. Pokus je postavljen prema split-plot metodi u tri ponavljanja sa slučajnim rasporedom blokova. Navodnjavanje i gnojidba N statistički su vrlo značajno utjecali na povećanje uroda zrna soje. Optimalan urod bio je na kombinaciji sadržaja vode u tlu 60 - 100% poljskog vodnog kapaciteta i 100 kg N ha^{-1}, 3,88 i 3,91 t ha^{-1} (2007. i 2009. god.). Količina filtrata bila je najmanja na kombinaciji bez navodnjavanja i bez gnojidbe N (od 9,65), a najveća na kombinaciji varijanti najvećeg navodnjavanja i najveće gnojidbe N (37,01 l m^2). Koncentracija filtrata je bila najmanja na kontroli navodnjavanja i kontroli gnojidbe N u obje godine istraživanja. Koncentracija filtrata na kontrolnoj varijanti gnojidbe N i na gnojidbi 100 kg N ha^{-1} bile su u granicama zakonom dopuštenih vrijednosti (<25 mg l^{-1}), a na B3 varijanti veća od dopuštenih. Ukupna količina nitrata tijekom godine bila je najmanja na varijanti bez navodnjavanja i bez gnojidbe N, 0,965 kg, a najveća na kombinaciji 80% do 100% PVK i 200 kg N ha^{-1}, 8,713 kg ha^{-1}. Gnojidba sa 200 kg N ha^{-1} onečistila bi podzemne vode u uzgoju soje. Za uspješnu proizvodnju soje preporučuje se sadržaj vode u tlu 60% - 100% PVK i gnojidba sa 100 kg N ha^{-1} (ispiranje nitrata u dopuštenim granicama).

KLJUČNE RIJEČI: soja, navodnjavanje, gnojidba N, ispiranje N, koncentracija nitrata

SOYBEAN GRAIN YIELD (GLYCINE MAX (L.) MERR.) AND N LEACHING IN IRRIGATION AND N FERTILIZATION

SUMMARY: In paper by field trials, effect of irrigation and nitrogen (N) fertilization on soybean grain yield and N leaching during two years on humofluvisol, non calcareous, with soybean variety Anica were investigated. Trial according split-split plot method by randomized block design in three repetitions was set. Irrigation and N fertilization resulted by statistically high significant effect on higher soybean grain yield. Optimal grain

yield was on combination soil water content from 60% to 100% field water capacity (FWC) and N fertilization with 100 kg N ha^{-1}, 3.88 and 3.91 t ha^{-1} (in 2007 and 2009 years). Amount of leachate was the lowest on combination treatments with no irrigation treatment and no N fertilization (9.65 l m^2) and the biggest on combination treatments, the highest irrigation and the biggest N fertilization (37.01 l m^2). Leachate concentration was the lowest on no irrigation treatment and no N fertilization treatment in both years. Leachate concentration on no N fertilization treatment and N fertilization by 100 kg N ha^{-1} were in law allowed values (<25 mg l^{-1}), and on 200 kg N ha^{-1} treatment were higher then allowable. Total amount of nitrates during the year was the lowest on no irrigation treatment and no N fertilization treatment combination (0.965 kg ha^{-1}), and the highest on the combination soil water content from 80% to 100% FWC and fertilization 200 kg N ha^{-1} (8.713 kg ha^{-1}). N fertilization with 200 kg ha^{-1} could pollute environment in soybean production. Success soybean production, could be recommend from 60% to 100% soil water content and N fertilization by 100 kg N ha^{-1} (N leaching in law permitted dose).

KEY WORDS: soybean, irrigation, N fertilization, N leaching, nitrate concentration

1. UVOD

Posljednjih nekoliko godina površine soje u Republici Hrvatskoj su stabilizirane na 40.000 do 55.000 ha, s prosječnim urodom zrna od 2.500 do 3.000 kg ha^{-1} (Vratarić i Sudarić, 2008.). Zbog značaja soje u poljoprivredi i prehrambenoj industriji i njezinog dobrog gospodarenja dušikom (N), provedena su istraživanja učinkovitosti navodnjavanja i gnojidbe dušikom (N), a posebno ispiranje N u dublje slojeve tla. Ispiranje gnojiva, a posebno N u donje slojeve tla uglavnom je ovisno o gnojidbi tla, njegovim svojstvima i klimatskim uvjetima (Šestić i sur., 1989.; Galloway, 1998.; Mesić i sur., 1999.; Turšić i sur., 1999.; Kovačević i sur., 2001.; Josipović i sur., 2006.; Marković i sur., 2011.; Kovačević i sur., 2010.). N je makroelement koji je nezamjenjiv u poljoprivredi i koristi se u značajnim količinama, a njegova kontrola u okolišu je vrlo jasno propisana Nitratnom direktivom Europske unije, 91/676/EEC (2010), kojoj je glavna zadaća zaštita voda od onečišćenja uzrokovanih nitratima porijeklom iz poljoprivrede.

Pozitivan učinak navodnjavanja soje je potvrđen brojnim istraživanjima, ali i negativan učinak prekomjernim navodnjavanjem. Povezanost i značaj vode i biljke (i života uopće) opisuje Boyer (1982) navodeći: „... dostupnost vode je jedan od glavnih limitirajućih čimbenika za biljnu proizvodnju i jedan od glavnih čimbenika koji regulira raspodjelu biljnih vrsta ...“. Bošnjak (2008.) je utvrdio najveći urod kada je sadržaj vode u tlu održavan od 60% do 100% poljskog vodnog kapaciteta (PVK), što su potvrdili Josipović i sur. (2010.). Isti autori su utvrdili da je urod pri sadržaju vode u tlu od 80% do 100% PVK bio manji nego na kontroli. Vučić (1976.) navodi da se navodnjavanjem povećava urod zrna soje do 30%, što je potvrđeno u istraživnjima Josipovića i sur. (2006. i 2010.). Pozitivne učinke navodnjavanja na urod zrna soje utvrdili su Mađar i Vratarić (1980., povećanje uroda od 23% do 49%), Dragović (1994.), Bošnjak (2008.).

Učinak dušika na urod zrna soje je vrlo različit i rezultati su dijametralno suprotni što su istraživanjima potvrdili de Mooy i sur. (1973.); Welch i sur. (1973., cit. Brevedan i sur., 1999.). Brevedan i sur. (1999.) navode da je povećanjem količine N od početka do kraja cvatnje povećan urod zrna soje za 33% u kontroliranim uvjetima i od 28% do 32% u po-

lju. Bhangoo i sur. (1972.), Johnson i Hume (1972.), Lyons i Earley (1972.) i Mederski i sur. (1958.) utvrdili su malo povećanje uroda zrna soje pri gnojidbi N (cit. Sorensen i Penas, 1978.). Suprotno tomu, rezultati istraživanja koje su proveli Beard i Hoover (1971.), Lyons i Early (1952.), Mederski i sur. (1958.), Wagner (1962.), Welch i sur. (1973., cit. Sorensen i Penas, 1978.), Jurić i sur. (1995.) ukazuju da gnojidba N nije rezultirala povećanjem uroda zrna soje. Josipović i sur. (2010.) su utvrdili da se urod povećao pri gnojidbi do 100 kg N ha^{-1}, a pri 200 kg ha^{-1} je urod bio jednak kontroli (na nekim varijantama i manji). Navedeno variranje učinka N ukazuje da se detaljno treba istražiti učinak kultivara soje, klime i tla kao i njihova interakcija, koristeći odgovarajuće statističke metode kojima će se raščlaniti pojedinačni učinak navedenih čimbenika.

Gubitci hraniva ispiranjem su učestali u tropskim humidnim područjima posebno na tlima „lakše“ teksture. Ispiranje N je najveće uglavnom u obliku nitrata što se manifestira onečišćenjem okoliša. Zbog navedenih razloga je kontrola ispiranja N doprinos zdravom okolišu. Neka generalna stajališta ispiranja N i gnojidbe su analizirali Mengel i Kirkby (1987.), Bergman (1992.), Eerdt i Fong (1998.), Galloway (1998.), Oad i sur. (2004.), Kladivko (2004.). Josipović i sur. (2006.) su u sušnoj (2000.) godini konstatirali da nije bilo ispiranja filtrata ni na varijantama navodnjavanja (palo je samo 230 mm oborina u vegetciji, Osijek). Isti autori su pri uzgoju soje utvrdili ispiranje 2,65 kg, 4,78 kg i 7,77 kg N ha^{-1} (2001.) pri gnojidbi 70, 100 i 130 kg mineralnog N ha^{-1}. Šestić i sur. (1989.) su utvrdili ispiranje 33,4 kg N ha^{-1} (29,4 kg NO_3-N and 4,0 kg NH_4-N); Mesić i sur. (1999.) su utvrdili ispiranje NO_3-N od 7,1 do 30,2 kg N ha^{-1}; Turšić i sur. (1999.) su utvrdili ispiranje NO_3-N od 7,1 kg N ha^{-1} do 27,5 kg N ha^{-1}; prosječno ispiranje NO_3-N u istraživanjima Josipovića i sur. (2006.) se kretalo od 0,32 kg N ha^{-1} do 7,88 kg N ha^{-1} 2001., dok je bilo veće 2005. godine kada je iznosilo od 2,41 kg N ha^{-1} do 23,71 kg N ha^{-1}. U Njemačkoj je Vömel (1966.) utvrdio ispiranje N između 0 i 27 kg te između 5 i 44 kg N ha^{-1} na pjeskovitoj ilovači i ilovači; Müller i sur. (1985.) su utvrdili ispiranje N 144,0, 16,5 i 6,5 kg N ha^{-1} godišnje u vinogradima, oranicama i šumama. Kancerogeno i mutageno djelovanje nitrozamina je vrlo jasno prikazano u istraživanjima sa životinjama Meier-Ploeger (1990.). Međunarodna FAO organizacija je utvrdila ograničenje unošenja nitrata u organizam za odrasle osobe, 60 kg tjelesne mase 1500 mg NO_3 tjedno (Owen i Jurgens-Geschwind, 1986.). Sadržaj NO_3-N u gotovo pripremljenoj hrani, u špinatu i drugom povrću za odrasle i djecu ne bi smjela prelaziti 250 ppm u svježoj masi, dok su ograničenja u NO_3 i NO_2 u pitkoj vodi od 0,32 do 40 ppm (Bergmann, 1992).

Cilj istraživanja je utvrditi učinak navodnjavanja i gnojidbe N na urod zrna soje, koncentraciju filtrata iz lizimetara i količinu N koja se ispire u dublje slojeve tla (dolazi do vodotoka ili podzemlja) i onečišćuje okoliš u agroekološkim uvjetima istočne Hrvatske. Također se osim istraživanja i utvrđivanja činjenica želi naglasiti briga za očuvanjem okoliša.

2. MATERIJAL I METODIKA ISTRAŽIVANJA

U Osječko - baranjskoj županiji na pokusnom polju Poljoprivrednog instituta Osijek, na lizimetarskoj postaji, postavljeni su pokusi soje prema split plot dizajnu, slučajnom rasporedu blokova u tri ponavljanja. Na postaji su u plodoredu soja i kukuruz, a ovaj rad, tijekom dvije godine (2007. i 2009.) analizira urod soje i ispiranje nitratnog oblika

dušika. Navedeni čimbenici su istraženi na kukuruzu 2006. i 2008. godine (Marković i sur. 2011.). Tip tla je humofluvisol, nekarbonatni, praškasto glinasto ilovast, plitko oglejen, pH u KCl-u od 6,5 do 6,9, sadržaj humusa od 1,85 do 2,13%, sadržaj P_2O_5 je od 22,6 do 26,4 mg 100 g tla, K_2O od 30,4 do 36,5 mg 100 g tla; udjel gline u oraničnom horizontu od 29,59% do 32,96%, praha od 64,70% do 68,05%, a pijeska od 1,64% do 2,75%. Učinak navedenih čimbenika istraživan je na sorti soje Anica, nulta do prva, grupa zriobe, kreacije Poljoprivrednog instituta Osijek. Navodnjavanje je bilo glavni čimbenik i malo je slijedeće varijante: A1 - kontrola, A2 - održavanje sadržaja vode u tlu od 60% do 100% poljskog vodnog kapaciteta (PVK) i A3 - održavanje sadržaja vode u tlu od 80% do 100% PVK. Navodnjavanje na varijantama A2 i A3 obavljano je samohodnim vučenim rasprskivačom (tifon), a voda je korištena iz dubinskog zdenca. Tifon je opskrbljivan vodom pomoću dubinske električne crpke. Raspodjela i količina vode po varijantama istraživanja u pojedinim godinama prikazana je u Tablici 1. Sadržaj vode u tlu mjeren je uređajem Watermark koji koristi sonde (gipsane blokove). Vrijednost na uređaju, 55 (60% PVK) na A2 varijanti i 25 (80% PVK) na A3 varijanti bila je osnova za početak navodnjavanja. Uređaj je kalibriran na tlu gdje su postavljeni pokusi, gravimetrijskom metodom na Poljoprivrednom institutu Osijek. Vodne konstante su izmjerene na uređajima pressure membrane i porous plate. Retencijski kapacitet tla za vodu (0,33 bara) iznosio je 39,0% volumnih; sadržaj lentokapilarne vode (6,25 bara) 32,6% vol. i vlažnost venuća (15 bara) 22,5% vol. Godine 2007. je na varijanti A2 navodnjavano 3 puta (120 mm vode), a 2009. god. 4 puta (200 mm vode), dok je na varijanti A3 2007. godine navodnjavano 5 puta (dodano 200 mm vode), a 2009. je navodnjavano 6 puta (dodano je 240 mm vode, Tablica 1).

Varijante gnojidbe N bile su: B1 - kontrola, B2 - 100 kg N ha^{-1} i B3 - 200 kg N ha^{-1}. Dušično gnojivo je dodano u obliku UREE (46% N) u osnovnoj gnojidbi (jedna polovina je zaorana u listopadu) i pred sjetvu (druga polovina je unešena rotodrljačom). Fosforom je gnojeno sa 112 kg ha^{-1} i kalijem 120 kg ha^{-1}. Prva polovina P_2O_5 dodana je osnovnom gnojidbom u jesen (zaorana zimskom brazdom), a druga predsjetveno u obliku superfosfata (45% P_2O_5) i K u obliku 60%-tne kalijeve soli. Nitrati iz filtrata su određeni ionskim spektrofotometrom, HRN ISO 7890-1, 2,6-dimetilfenolom (referentni laboratorij Gradski Vodovod, Osijek). Prema navedenoj normi dozvoljena koncentracija nitrata u pitkoj vodi i vodi u prirodi smije biti do 25 mg l^{-1}. Soja i kukuruz su izmjenjivani tako da je ista kultura na istoj površini sađena svake druge godine, vodeći pri tomu računa da ista varijanta gnojidbe i navodnjavanja (obje kulture) budu uvijek na istoj parceli. Sjetva pokusa soje je obavljena u optimalnom agrotehničkom roku (druga dekada travnja) i pneumatskom sijačicom, na međuredni razmak 50 cm i planirani sklop 560 tisuća biljaka ha^{-1}. Na pokusima je provedena odgovarajuća zaštita usjeva na principu integralne proizvodnje bilja. Primjenjivati će se načela Direktive o integriranoj biljnoj zaštiti „Directive 2009/128/ ec of the european parliament and of the council“, koja propisuje akcijski okvir zajednice za postizanje održive upotrebe pesticida. Žetva soje je obavljena tijekom rujna, specijaliziranim kombajnom za pokuse (Wintersteiger Clasic). Žetvena parcelica pod faktora (B) je iznosila 45 m^2 (30 m x 3 reda = 1,5 m), a glavnog faktora (A) 135 m^2 (3 x 30 m x 1,5 m). Dobiveni podatci su statistički obrađeni (SAS, model GLM, split-plot dizajn). Klimatski podatci su prikazani tablično po mjesecima vegetacije (IV. - IX.) za godine istraživanja i za višegodišnji prosjek, 1961. - 2000.

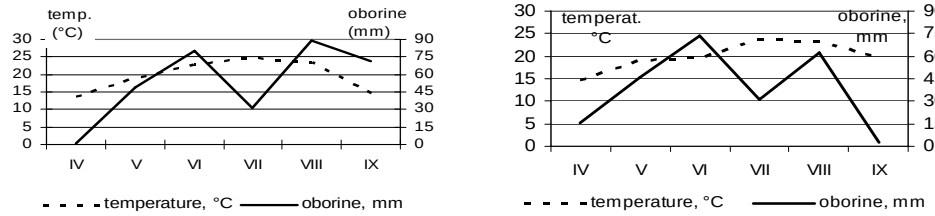
Godina	Broj obroka i količina vode, mm				Količina oborina u veget. mm	Ukupno vode, mm oborine oborine + navodnjavanje, mm po varijantama pokusa		
	A2 varijanta		A3 varijanta					
	broj obroka	dodano vode	broj obroka	dodano vode		A1	A2	A3
2007.	3	120	5	200	301,7	301,7	421,7	501,7
2009.	4	200	6	240	230,8	230,8	430,8	470,8
Prosjek	3,5	160	2,5	220	266,3	266,3	426,3	486,3

Tablica 1. Raspodjela vode na varijantama navodnjavanja A2 i A3 tijekom istraživanja

Mjesec/	Prosječna temperatura zraka,°C		Prosjek,°C	Količina oborina, mm		Zbroj, mm
Godina	2007.	2009.	1961/2000	2007.	2009.	1961/2000
IV	13,7	14,2	11,3	0,7	15,7	54,1
V	19,0	19,3	16,5	48,5	45,5	58,9
VI	22,7	18,3	19,4	80,1	73,9	83,5
VII	24,8	25,1	21,1	31,1	31,0	66,6
VII	23,5	228	20,3	89,0	61,9	59,6
IX	14,8	18,0	16,6	71,0	28,0	51,8
Vegetacija	21,5	19,6	17,5	301,7	230,8	368,3

Tablica 2. Prosječne temperature zraka i količina oborina 2007. i 2009. godine i prosjek (1961. - 2000.) u vegetaciji, meteorološka postaja Osijek

Klimadijagrami za vegetacijsko razdoblje po Walteru za 2007. i 2009. godinu prikazani su na slici 1. Nedostatak oborina u travnju, svibnju i srpnju tijekom vegetacije u 2007. godini i nedostatak oborina gotovo cijele vegetacije uz izuzetak u lipnju ukazuju da su obje godine imale manje oborina od višegodišnjeg prosjeka (Slika 1). Klimadijagram po Walteru je orjentacija koja dobro ocrtava klimatske uvjete vegetacije.



Slika 1. Klimadijagrami po Walteru, 2007. i 2009. godina, Osijek

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati četvrogodišnjih istraživanja (2006. - 2009. god.) uroda zrna soje na pokusnom polju Poljoprivrednog instituta Osijek su opisani u radu Josipović i sur. (2010.), a u ovom radu su izdvojene dvije godine kada je pokus soje bio na lizimetarskoj postaji (Tablica 3).

U 2007. godini navodnjavanje je rezultiralo statistički vrlo značajnom razlikom ($P \geq 0,01$) u urodu zrna soje na varijanti A3 (3,85 t ha^{-1}) prema varijantama A1 i A2, ali i varijante A2

prema A1. Količina primjenjenog N na varijanti B2 je rezultirala statistički vrlo značajno većim urodom soje prema urodu na varijantama B3 i B1. Kombinacija A3B2 je rezultirala najvećim urodom soje, 4,02 t ha^{-1} koji je bio i statistički vrlo značajno veći prema većini kombinacija, ali ne i prema kombinaciji A3B2. Prosječan urod soje na pokusu je čak 3,68 t ha^{-1} što je visoko obzirom da je prosječna temperatura u vegetaciji bila za 2 ^{o}C veća od prosjeka, a količina oborina za 65 mm manja od prosjeka. Navedeno ukazuje da soja dobro podnosi i vrlo visoke temperature zraka kada beskišno sušno razdoblje ne traje dugo.

U 2009. godini, navodnjavanje je rezultirao statistički vrlo značajno većim urodom zrna soje na varijanti A3, 3,97 t ha^{-1}, prema varijantama A1 i A2 koje su se također statistički vrlo značajno razlikovale. Varijante B2 i B3 rezultirale su statistički vrlo značajno većim urodom zrna soje prema varijanti B1. Kombinacija A3B1 je imala najveći urod, 4,05 t ha^{-1}, koji je bio i statistički vrlo značajno veći prema većini kombinacija. Najmanji urod soje bio je na kontroli navodnjavanja i gnojidbe N, A1B1 (2,99 t ha^{-1}). Temperatura zraka je tijekom vegetacije bila na razini prosjeka uz iznimku vrlo toplog srpnja (25,1 ^{o}C), dok je količina oborina bila samo 231 mm (138 mm manje od prosjeka). No, bez obzira na to, prosječan urod pokusa bio je velik, 3,76 t ha^{-1}.

Količina ispranog filtrata, koncentracije filtrata i količina ispranog N su prikazane u tablici 4. za 2007. godinu i u Tablici 5. za 2009. godinu. Tijekom 2007. godine filtrat je izuziman tri puta (09.04., 29.08. i 12.10.) kao i 2009. (17.07., 31.08. i 27.11.). Količina filtrata bila je najmanja na kontrolnoj varijanti navodnjavanja (A1) 2009. godine (9,65 l m^2) i 2007. godine (18,65 l m^2), dok je najveća bila na varijanti najvećeg navodnjavanja (B3), a iznosila je od 23,85 l m^2 2009. godine do 37,01 l m^2 2007. godine. Količina filtrata je generalno bila manja u 2009. godini koja je bila sušnija u odnosu na 2007. godinu.

Koncentracija filtrata bila je najmanja na kontroli navodnjavanja (A1) i kontroli gnojidbe N u obje godine istraživanja, a smanjivala se prema kraju vegetacije. Koncentracija filtrata na kontrolnoj varijanti gnojidbe N (B1) i na gnojidbi sa 100 kg N ha^{-1} (B2) bile su u granicama zakonom dopuštenih vrijednosti (manje od 25 mg^{-1}), a dok su koncentracije na B3 varijanti prelazile granice zakonom dopuštenih (Tablica 4.).

Ukupna količina nitratnog oblika N tijekom godine je također bila najmanja na varijanti kontrole navodnjavanja i kontrole gnojidbe u obje godine istraživanja. Najmanja količina N je bila na varijanti A1B1, 0,965 kg 2009. godine, a najveća na A3B3 (8,713 kg ha^{-1}) 2007. godine. Povećanjem razine navodnjavanja i količine gnojidbe N u pravilu se povećavala i količna ispranih nitrata u obje godine istraživanja. Obzirom da gnojidba sa 100 kg N ha^{-1} nije velika, treba istražiti dinamiku usvajanja N i kontrolirano navodnjavati kako bi gotovu svu količinu N u tlu usvojile biljke, što bi omogućilo velik i stabilan urod soje, a rezultiralo minimalnim procjeđivanjem nitrata u dublje slojeve tla. Količine nitratnog oblika N na gnojidbi sa 200 kg N ha^{-1} uzrokuju, dakle značajnije onečišćenje podzemnih voda na istraživanom tipu tla pri uzgoju soje tijekom dvogodišnjih istraživanja.

Obzirom da su obje godine bile sušne, generalno je i količina filtrata i količina ispranog N bila manja prema prosječnoj odnosno klimatski vlažnoj godini.

	Urod zrna soje na bazi 14% suhe tvari, t ha^{-1}								
B	2007. godina					2009. godina			
	A1	A2	A3	Pr. B		A1	A2	A3	Pr. B
B1	3,18	3,70	3,55	3,48	B1	2,99	3,92	4,05	3,66
B2	3,64	3,88	4,02	3,85	B2	3,56	3,91	4,01	3,82
B3	3,65	3,54	3,99	3,73	B3	3,89	3,65	3,86	3,80
Pr. A	3,49	3,71	3,85	3,68	Pr. A	3,48	3,83	3,97	3,76
LSD	A	B	AB		LSD	A	B	AB	
0,05%	0,066	0,066	0,114		0,05%	0,087	0,087	0,151	
0,01%	0,092	0,092	0,160		0,01%	0,122	0,122	0,212	

A1 = kontrola; A2 = sadržaj vode u tlu 60% - 100% PVK; A3 = sadržaj vode u tlu 80% - 100% PVK; B1 = kontrola; B2 = 100 kg N ha^{-1}; B3 = 200 kg N ha^{-1}; 0,05% i 0,01% statistička vjerojatnost 95% i 99%, Pr = prosjek

Tablica 3. Urodi zrna soje po godinama istraživanja i njihova statistička značajnost

Faktor A	Podfaktor B	Datum izuzimanja filtrata, količina po m^2, koncentracija i količina NO_3 N, 2007. godina										
		09.04.2007.			29.08.2007			12.10.2007.			Količina filtrata	
		K.F.	C.F.	NO_3 N	K.F.	C.F.	NO_3 N	K.F.	C.F.	NO_3 N		
		l/m^2	mg/l	kg/ha	l/m^2	mg/l	kg/ha	l/m^2	mg/l	kg/ha	l/m^2	kg/ha
A1	B1	2,50	10,24	0,256	5,60	9,25	0,518	7,15	6,42	0,459	15,25	1,233
	B2	2,38	16,26	0,387	6,35	14,97	0,951	8,25	11,64	0,960	16,98	2,298
	B3	2,40	24,90	0,598	7,25	19,26	1,369	9,00	17,29	1,556	18.65	3,550
A2	B1	3,00	9,26	0,278	8,40	11,05	0,928	13,00	5,61	0,729	24,40	1,935
	B2	2,81	15,09	0,424	9,25	15,84	1,465	14,25	13,26	1,890	26,31	3,779
	B3	2,64	23,15	0,611	10,00	21,16	2,116	15,25	19,30	2,943	27,89	5,670
A3	B1	3,05	11,05	0,337	12,65	9,05	1,145	18,25	4,92	0,898	33,95	2,380
	B2	2,76	17,05	0,421	13,25	14,25	1,888	21,00	14,20	2,982	37,01	5,341
	B3	2,41	25,12	0,604	14,00	32,41	4,537	20,25	17,64	3,572	36,66	8,713

K.F. = količina filtrata; C.F. = koncentracija filtrata; A1 = kontrola; A2 = sadržaj vode od 60 do 100% PVK; A3 = sadržaj vode od 80 do 100% PVK; B1 = kontrola; B2 = 100 kg N/ha; B3 = 200 kg N/ha

Tablica 4. Količina i koncentracija filtrata (NO3) u 2007. godini

Faktor A	Podfaktor B	Datum izuzimanja filtrata, količina po m^2, koncentracija i količina NO_3 N, 2009. godina										
		17.07.2009.			31.08.2009.			27.11.2009.			Količina filtrata	
		K.F.	C.F.	NO_3 N	K.F.	C.F.	NO_3 N	K.F.	C.F.	NO_3 N		
		l/m^2	mg/l	kg/ha	l/m^2	mg/l	kg/ha	l/m^2	mg/l	kg/ha	l/m^2	kg/ha
A1	B1	2,10	12,65	0,267	3,45	11,74	0,405	4,85	6,24	0,303	10,40	0,965
	B2	1,95	17,64	0,344	4,20	14,62	0,614	4,90	13,17	0,645	11,05	1,603
	B3	2,05	24,02	0,492	3,65	18,64	0,680	3,95	20,16	0,796	9,65	1,968
A2	B1	2,15	11,74	0,252	7,60	10,26	0,780	9,50	4,92	0,320	19,35	1,352
	B2	2,00	19,21	0,384	8,45	15,26	1,290	10,00	14,26	1,426	20,45	3,10
	B3	1,85	23,17	0,429	6,95	19,21	1,335	11,05	22,14	2,446	19,85	4,210
A3	B1	2,10	12,96	0,272	9,15	9,75	0,892	12,60	5,04	0,635	23,85	1,799
	B2	2,25	16,82	0,378	10,20	14,68	1,497	14,10	12,01	1,693	26,55	3,568
	B3	1,95	24,10	0,470	11,00	17,61	1,937	13,20	21,65	2,858	26,15	5,265

K.F. = količina filtrata; C.F. = koncentracija filtrata; A1 = kontrola; A2 = sadržaj vode od 60 do 100% PVK; A3 = sadržaj vode od 80 do 100% PVK; B = kontrola; B2 = 100 kg N/ha; B3 = 200 kg N/ha

Tablica 5. Količina i koncentracija filtrata (NO3) u 2009. godini

Provedena istraživanja ispiranja nitratnog oblika N u dublje slojeve tla su manja u usporedbi sa drugim istraživanjima u Republici Hrvatskoj, Šestić i sur. (1989., 33.4 kg N ha^{-1}); Mesić i sur. (1999., od 7,1 do 30.2 kg N ha^{-1}); Turšić i sur. (1999., od 7.1 kg do 27.5 kg N ha^{-1}). Isprana količina N je uglavnom manja i od provedenih istraživanja izvan Republike Hrvatske, u Njemačkoj, Vömel (1966., od 0 and 27 kg N ha^{-1}); Müller i sur. (1985., od 5 do 44 kg N ha^{-1} i od 6,5 do 144.0 kg N ha^{-1}). Navedena istraživanja su provedena na tlima nešto lakšeg mehaničkog sastava, što može biti bitan razlog većeg ispiranja. Lizimetri u našim istraživanjima su bili postavljeni na 80 cm dubine, a korijen kukuruza i suncoktera prodiru i značajno dublje u tlo, što znači da sljedeće godine navedene kulture mogu iskoristi dio N. Na temelju dosadašnjih iskustava u proizvodnji, ispiranje nitratnog oblika N u dublje slojeve tla, u istočnoj Hrvatskoj je u okvirima dozvoljenih vrijednosti i nije opasno po onečišćenje podzemnih voda, posebno stoga što je gnojidba ukunim mineralnim dušikom manja od 200 kg N ha^{-1} (B3 varijanta).

ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih istraživanja može se zaključiti da su navodnjavanje i gnojidba N statistički vrlo značajno utjecale na povećenje uroda zrna soje.

Količina filtrata bila je najmanja na kombinaciji kontrole navodnjavanja i kontroli gnojidbe N (od 9,65 do 18,65 m^2), a najveća na kombinaciji varijanti najvećeg navodnjavanja i najveće gnojidbe N (od 23,85 do 37,01 l m^2). Koncentracija filtrata je imala sličan trend kao i količina filtrata, najmanja na kontroli navodnjavanja i kontroli gnojidbe N u obje godine istraživanja. Koncentracija filtrata na kontrolnoj varijanti gnojidbe N (B1) i na gnojidbi sa 100 kg N ha^{-1} (B2) bile su u granicama dopuštenih (< 25 mg^{-1}), a koncentracije na B3 varijanti su bile veće.

Ukupna količina nitrata bila je najmanja na kontroli navodnjavanja i kontroli gnojidbe N u obje godine istraživanja. Najmanja količina N je bila na varijanti A1B1, 0,965 kg, a najveća na A3B3 (8,713 kg ha^{-1}). Povećanjem razine navodnjavanja i količine gnojidbe N se povećavala i količna ispranih nitrata. Gnojidba sa 200 kg N ha^{-1} onečistila bi okoliš.

Za uspješnu proizvodnju soje se može preporučiti racionalno navodnjavanje, održavanje sadržaja vode u tlu od 60% do 100% PVK i gnojidba sa 100 kg N (minimalno ispiranje N).

LITERATURA

[1] American Public Health Association (1992): Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition, APHA-AWWA-WPCO, Washington D.C.

[2] Bergmann, W. (1992): Nutritional disorders of plants - development, visual and analytical diagnose. Gustav Fischer Verlag Jena. p. 93.

[3] Boyer, J. S. (1982): Plant productivity and the environment. Science, 218, 443-448.

[4] Bošnjak, Đ. (2008): Navodnjavanje soje u redovnoj, drugoj i postrnoj sjetvi. Objavljeno u Soja.

[5] Bower, C. T. and W. C. Cooper, (1956): The sodium-adsorption ratio and its significance in irrigation agriculture. Journal of the Rio Grande Valley horticultural society, vol. X.

[6] Brevedan, R.E., Egli, D.B., and Leggett, J.E. (1999): Influence of N Nutrition on Flower and Pod Abortion and Yield of Soybeans. Agronomy Journal. Vol 70(1): 81-84.

[7] Council directive (2010): 91/676/EEC, Official Journal of Europian Comunity, No 1882/2003 Of the Council directicve (2003): No L 284, page 1, date 31. 10. 2003., „DIRECTIVE 2009/128/EC“ OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL (establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides). European Comunity.

[8] Dragović, S. (1994): Uticaj suše u različitim fenofazama razvića na prinos soje i efekat navodnjavanja. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo. Novi Sad. Srbija. 143-152. Beograd.

[9] Eerdt, M. M., Fong, P. K. N. (1998): The monitoring of nitrogen surpluses from agriculture. In: Nitrogen, the Confer-N-s, First International Nitrogen Conference 1998, 23-27 March 1998 Noordwijkerhout, The Netherlands, p. 227-233.

[10] Galloway, J. N. (1998): The global nitrogen cycle: changes and consequences. In: Nitrogen, the Confer-N-s, First International Nitrogen Conference 1998, 23-27 March 1998 Noordwijkerhout, The Netherlands, p. 15-24.

[11] Josipović, M., Kovačević, V., Šoštarić, J., Plavšić, H., Liović, I. (2006): Influence of irrigation and fertilization on soybean properties and nitrogen leaching. Proceedings of 5th Alps-Adria Scientific Workshop. 6-11 March, Opatija, Croatia, 513-516.

[12] Josipović, M., Plavšić, H., Sudarić, Aleksandra., Vratarić, Marija., Liović, I. (2010): Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod zrna soje *Glycine max* (L.) Merr., Proceedings of 45th Croatian and 5th International Symposium of Agriculture, Opatija, Croatia, (ed) Marić, S. and Lončarić, Z., Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J.J Strosmayera u Osijeku, 751-755.

[13] Juric, I., Zugec, I., Knezevic, M. and Kovacevic, V. (1995). Influence of Phosporus and Nitrogen fertilization on syobean (*Glycine max* (L.) Merr.) yields under subtropical conditions (Ethiopia). In The Soil Fertility and Fertilizer Management. 9th International Symposium of CIEC. (ed.) 25-30. Kusadasi. Turkey.

[14] Kladivko, E.J; Frankenberger, J.R; Jaynes, D.B.; Meek, D.W.; Jenkinson, B.J.; Fausey, N.R. (2004): Nitrate leaching to subsurface drains as affected by drain spacing and changes in crop production system. Journal-of-Environmental-Quality. 33(5): 1803-1813.

[15] Kovacevic, V., Josipovic, M. (2001): Soil degradation and weather influences on corn yields in eastern Croatia. 3rd International Conference on Land Degradation, Sept, 2001, Rio de Janeiro, Brazil p. 130.

[16] Kovačević, V., Josipović, M., Kaučić, D., Iljkić, D. (2010): Weather impacts on yields of maize, sugar beet, soybeans and sunflower, Proceedings of 45th Croatian

and 5th International Symposium of Agriculture, Opatija, Croatia, (ed) Marić, S. and Lončarić, Z., Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J.J Strosmayera u Osijeku, 796-800.

[17] Mađar, S., i Vratarić, M. (1980). Ispitivanje reakcije sorata soje u uvjetima navodnjavanja. Zbornik radova Poljoprivrednog instituta Osijek (PIO): 121-134. Hrvatska. PIO.

[18] Marković, M., Josipović, M., Šoštarić, J., Brkić, I., Krizmanić, G., Plavšić, H. (2011): Irrigation and N fertilization impact on maize yield (Zea mays L.) and nitrogen leaching, 5th Croatian Water Conference with International Participation, Opatija 18-21 may 2011 (in press).

[19] Meier-Ploeger, A. (1990): Sprouts as an alternative to winter vegetables. In Abstracts on sustainable agriculture, Vol. 3 (compiled by Jurgen Carls), GTZ GmbH, Eschborn, Germany, p. 266-267.

[20] Mengel, K., Kirkby, E. A. (1987): Principles of plant nutrition (4th edition). International Potash Institute Bern, Switzerland

[21] Mesic, M., Butorac, A., Basic, F., Kisic, I., Gaspar, I. (1999): Effect of different mineral nitrogen rates, applied in fertilization for oil rape, upon nitrogen concentrations in drainpipe water. XXXV Croatian Symposium in Agriculture (book of abstracts), February 22-25, Opatija, Croatia, p. 54.

[22] Miladinović, J., Hrustić, M., Vidić, M. ur. Miladinović, J., Hrustić, M., Vidić, M. 512. str. Srbija. Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad Sojaprotein Bečej.

[23] Müller, W., Gartel, W., Zekosek, H. (1985): Leaching of plant nutrients from vineyard soils. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 148, 417-428.

[24] Oad,,F.C.; Agha,,S.K.; Buriro,,U.A.; Siddiqui,,M.H. (2004): Growth and yield characters of inoculated and un-inoculated soybean under nitrogen broadcast and fertigation practices. International-Journal-of-Agriculture-and-Biology. 6(6): 1156-1158.

[25] Owen, T. R., Jurgens-Gschwind, S. (1986): Nitrat und die menschliche Gesundheit. BASF-Mitt. f. d. Landbau 3, 3-42.

[26] Šestić, S., Leskošek, M., Mihalić, V., Mušac, I., Resulović, H. (1989): Gubici hraniva ispiranjem iz oranicnog sloja zemljista (Nutrient losses by leaching from top arable layer of soils). Poljopr. aktualnosti, Zagreb 33 (1-2), 211-221.

[27] Sorensen, R.C., and Penas, E.J. (1978): Nitrogen Fertilization of Soybeans. Agronomy Journal. Vol. 70 (2): 213-216.

[28] Tomić, F.; Marinčić, I. (1987): Potrebe i mogućnosti primjene natapanja u Republici Hrvatskoj, Poljoprivredne aktualnosti, Zagreb, 1-2, 237-243.

[29] Tursic, I., Butorac, A., Vuletic, A., Basic, F., Mesic, M. (1999): Nitrate Leaching in the Production of Tobacco, Wheat, Maize, Soybean and Oil Rape on Semiglay Soil in Podravina. XXXV Croatian Symposium in Agriculture (book of abstracts), February 22-25, Opatija, Croatia, p. 50.

[30] Vratarić, M. i Sudarić, A. (2008): Proizvodnja soje u Republici Hrvatskoj. Objavljeno u Soja, *Glicyne max* (L.) Merr., Vratarić (ur.), 11-15. Osijek. Hrvatska: Poljoprivredni institut Osijek.

[31] Vomel A. (1966): Nutrient balance in various lysimeter soils. I. Water leaching and nutrient balance. Z. Acker- u. Pflanzenbau, 123, 155-188.

[32] Vučić, N. (1976): Navodnjavanje poljoprivrednih kultura, Sveučilište u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad. 432.

[33] Vučić, N. i Bošnjak, Đ. (1980): Potencijalna evapotranspiracija soje u klimatskim uslovima Vojvodine. Arhiv za poljoprivredne nauke. Vol. 41 (144): 569-575.

AUTORI

dr.sc. Marko Josipović[1]
dr.sc. Aleksandra Sudarić[1]
dr.sc. Ivica Liović[1]
prof.dr.sc. Jasna Šoštarić[2]
Monika Marković, dipl.ing.polj.[2]
mr.sc. Hrvoje Plavšić[1]

[1] Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, Osijek 31103, Hrvatska, *marko.josipovic@poljinos.hr*

[2] Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayer, Trg Sv. Trojstva, Osijek 31000,

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 2.23.

IRRIGATION AND N FERTILIZATION IMPACT ON MAIZE YIELD (*Zea Mays L.*) AND NITROGEN LEACHING

Monika Marković, Marko Josipović, Jasna Šoštarić, Ivan Brkić, Goran Krizmanić, Hrvoje Plavšić

SUMMARY: Nutrient transport down the soil profile, especially Nitrogen (N) varies considerably depending on soil properties and climate. Insufficient application of N fertilizer can result with the lower yield while excessive application of N could result by losses of it and pollutions. The consequences of N leaching to a deeper soil layers and subsurface water are manifesting as negative influence on human health and harmony of ecosystem. Field experiment was setup on trial fields of Agricultural Institute Osijek as split-split plot method in three repetitions during the period 2006 and 2008. Maize yield and pollution from N fertilizer were tested in irrigated and N fertilized condition with wide spread maize hybrid in Croatia, OSSK 552, created at Agricultural institute Osijek. For collecting the leachate Ebermeier's lysimeters were used. The leachate was analyzed in laboratory – the content of nitrate, nitrite and ammonium forms of nitrogen. Irrigation treatment was significant for both years of experiment with yield increasing for 13%, while the nitrogen fertilizer increased maize yield for 16%. Larger amount and concentration of leachate comes as result of irrigation intervals with the highest amount of water, fertilization with the larger nitrogen doses, and the highest amount of precipitation during vegetation season.

KEY WORDS: maize, irrigation, N fertilization, N leaching, pollution

UTJECAJ NAVODNJAVANJA I GNOJIDBE DUŠIKOM NA UROD KUKURUZA (*Zea Mays L.*) I ISPIRANJE DUŠIKA

SAŽETAK: Transport hraniva kroz profil tla, posebno dušika (N) varira ovisno o tipu tla i klimi. Primjena nedovoljne količine dušičnih gnojiva može rezultirati smanjenjem uroda, dok prekomjerna količina dušičnih gnojiva može rezultirati gubicima hraniva i onečišćenjem. Ispiranje dušičnih gnojiva u dublje slojeve tla i podzemne vode negativno se odražava na zdravlje čovjeka i sklad čitavog ekosustava. Pokus je postavljen na pokušalištu Poljoprivrednog instituta u Osijeku kao split-split plot u tri ponavljanja tijekom vegetacije 2006. i 2008. Proučavan je urod zrna kukuruza i ispiranje dušika u uvjetima navodnjavanja i gnojidbe N. U istraživanju je korišten hibrid OSSK 552 kreiran na Poljoprivrednom institutu u Osijeku. Navodnjavanje je rezultiralo statistički značajnim

povećanjem uroda u obje ispitivane godine (povećanje 13%), dok je gnojidba N značajno povećala urod za 16%. Veća količina i koncentracija perkolata (procjeđene tekućine) izmjerena je na varijantama navodnjavanim s najvećom količinom vode i gnojenim s najvećom količinom N gnojiva.

KLJUČNE RIJEČI: kukuruz, navodnjavanje, gnojidba N, ispiranje N, onečišćenje

1. INTRODUCTION

Application of nitrogen (N) fertilizer and water (irrigation practice) can ensure high yield of maize grain. Optimal amount of applied N fertilizer increases yield while negative consequences to environment have been reduce. "The NO_3 leaching in to ground and surface water and accumulation in plant has harmful human effect" (Kristóf et al., 2007). Groundwater pollution becomes major concern because of improper agricultural practises fertilization and irrigation. Appropriate water and nutrition management required to minimize ground water pollution and maximized the nutrition use efficiency and production (Ajdary et al. 2007; Hu et al., 2010). Nitrate as N form is highly mobile and leachable. It has been as usual that excessive application of N leads to nitrate pollution of groundwater and surface water (Ajdary et al., 2007). Nitrate leaching potential depends on soil properties, crops and crop rotation, irrigation methods, management practices and climatic parameters (Nemeth et al. 2006; Josipović et al. 2006; Nemcic Jurec et al., 2007; Ajdary et al., 2007). N leaching beyond the root zone during the crop cycle is negligible, regardless of the rate of fertilizer application, because of the very small amount of drainage, despite irrigation (Kengni et al., 1994). Possible ground and surface water pollution caused by nitrate leaching is a result of excessive and inadequate N application (Vukovic et al., 2008). Understanding water and N transport through the soil profile is important for efficiently irrigation, nutrient management, and minimizing N leaching to the groundwater (Hu et al., 2010). The EU Nitrate Directive (91/676/EEC) has designed to reduce water pollution from agriculturally derived N. The main object of our research was, therefore, to determine whether amount of percolate, and amount of NO3 in percolate as well are affected by the level of water and nitrogen supply, while maize yield was showed by Josipović et al. (2010).

2. MATERIALS AND METHOD

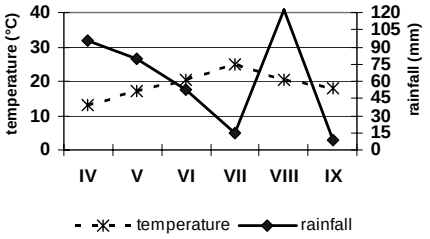
Research area is located at trial fields of Agricultural Institute in Osijek (45-46^{O}N - 18-19^{O}E), Osijek-baranja county. The site is located in a moderate warm, rainy climate (Koeppen classification) without significant dry periods, and with precipitation amount evenly distributed thru the year (climate area Cfwbx). Mean annual temperature is 10,8 ^{o}C (years 1961-2000). Average annual rainfall in Osijek-baranja region ranges from 609 mm to 792 mm. Maximum of precipitation occurs during month June, and secondarily during November (County of Osijek-baranja, 2006). Main minimal amount of precipitation occurs during the middle of autumn in October month, while the secondary minimum at the end of winter end at the beginning of spring (February and March). Trial was set up as split-split method in three repetitions. Two third of planned N quantities were added in autumn and before sowing (urea: 46% N) and the rest by two top dressings at early

growth stages (calcium ammonium nitrate: 27% N). Phosphorus (100 kg P_2O_5 ha^{-1}) and potassium (150 kg ha^{-1} K_2O) in form of triplesuperphosphate (45% P_2O_5) and potassium salt (60% K_2O as KCl) applied.

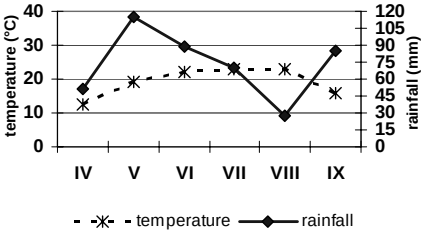
Treatment	Year 2006				Year 2008			
	mm	n	N kg ha^{-1}		mm	n	N kg ha^{-1}	
A1	414		B1	0	437		B1	0
A2	80	2	B2	100	80	2	B2	100
A3	120	3	B3	200	120	3	B3	200
	A1+A2		A1+A3		A1+A2		A1+A3	
mm	493.9		533.9		517.3		557.3	
A1 = dry farming, amount of precipitation; A2 = 60%-100% FWC; A3 = 80-100% FWC; B1 = control; B2 = 100 kg N ha^{-1}; B3 = 200 N ha^{-1}; n = number of irrigation								

Table 1 Amount of precipitation and irrigated water (mm)

Area of sub plots was 78.4 m^2 (B = N fertilization) and 235 m^2 (A = irrigation practice). Irrigation treatment was in main plot with three variant as follows: A1 = control variant without applied irrigation, plants where having water from natural precipitation, A2 = soil water content kept from 60 % to 100% field water capacity (FWC) and A3 = 80% to 0100% FWC. As it has been shown in Table 1 in both vegetation season (2006 and 2008) same N fertilizer (B) treatments where applied: B1 = control, B2 = 100 kg N ha^{-1} and B3 = 200 kg N ha^{-1}. Water regime varied depending on amount of precipitation. Year 2006 characterised 414 mm of rainfall during vegetation season, while 437 mm precipitation in year 2008 which is above the 30-year average (368 mm), and so irrigation practice had a supplementary character and it was applied as follows: 80 mm at A2 variant of irrigation and 120 mm at A3 variant of irrigation (Table 2).



Graph 1 Walters's climate diagram for vegetation season 2006



Graph 2 Walters's climate diagram for vegetation season 2008

Irrigation water provided from natural well (37 m deep) at trial field. Capacity of the well is 5 to 7 l sec^{-1}. Water sample from the deep well showed quality as follows: EC = 634 meq l^{-1} and Sodium adsorption ratio (SAR) = 7.48**.** According to classification, water is slightly salted but with the amount of precipitation higher than 600 mm per year and good water penetration thru soil, water quality is satisfied and there is no possibility for salinity of soil. Amount of Na represents a potential risk. Other characteristics of water are as follows: pH 7.42, NH_4 = 0.58, NO_2 = 0.036, NO_3 = 0.0968, 75.18 mg Ca l^{-1}. According to given characteristics of water quality we can conclude that water is suitable for irrigation with continual observing of water quality during vegetation period. For irrigation scheduling, soil moisture with the system of gypsum blocks buried at two depths, 15 cm and

25 cm has been measured. Soil water content has been measured every second day with "Watermark" device. N fertilizers where second factor of research applied as follows: B1 = control variant (without applied N fertilizer), B2 = plants where fertilized with 100 kg N ha^{-1}, and B3 = 200 kg N ha^{-1}. Maize hybrid OSSK 552 in experiment, created at Agricultural institute in Osijek has been used. Soil type at the trial fields has been classified as eutric cambisol (Soil Survey Division Staff, 1993).

	*Mechanical analysis (%)			P	AWC	AC	RAW
Depth (cm)	Sand	Silt	Clay	(%)	(%)	(%)	(%)
0-32	2,75	64,70	32,55	41,82	36,57	5,25	35,46
32-50	2,31	66,36	31,33	41,83	35,59	6,24	33,26
50-70	6,32	68,17	25,51	48,59	38,14	10,45	34,56
70-105	6,55	71,81	21,63	52,08	39,66	12,41	35,76
* = soil Survey Staff (1951, 1993); P = porous; AWC = available water capacity; AC = air capacity; RAW = readily available water							

Table 2 Average values of selected physical properties of soil

Soil (Table 2) is silt clay loamy texture, shallow gley, pH in KCl from 6.5 to 6.9. P_2O_5 content goes from 22.6 to 26.4 mg 100 grams of soil; K_2O content goes from 30.4 to 36.5 mg 100 grams of soil. Lysimeters are open type: 80 cm wide x 80 cm long x 10 cm deep. The leachate was pumped by mechanical pump from Ebermayer's lysimeter reservoir 5 to 7 days after the rain or irrigation intervals; afterwards it was analyzed in laboratory in order to determine the content of nitrate (NO_3), nitrite (NO_2) and ammonium (NH_4^+) forms of nitrogen. Leachate sample where taken three times at vegetation period: April, July, and September during 2006 and May, June and October during year 2008. For the analysis of weather conditions data from Osijek Weather Bureau have been used.

3. RESULTS AND DISCUSSONS

The highest yield of maize grain in vegetation season 2006 (Table 3) was achieved at A3B3 = 10 646 kg ha^{-1} (highest amount of applied water and N fertilizer) (31% higher compare to the control), while as it was expected lowest yield was measured at control A1B1 = 7 330 kg ha^{-1}. Irrigation treatment and N fertilization as well showed statistically very significant level of significance in both tested vegetation seasons (2006 and 2008).

		April 2006			June 2006			September 2006			**Total**			**Yield**
A	B	l/m^2	C mg/l	NO_3 kg/ha	l/m^2	C mg/l	NO_3 kg ha^{-1}	l/m^2	C mg/l	NO_3 kg/ha	**l m^2**	**C mg/l**	**NO_3 kg/ha**	**kg ha^{-1}**
1	1	2.81	12.5	0.35	20.4	11.3	2.295	17.5	8.60	1.51	**40.7**	**32.4**	**4.16**	**7330**
	2	2.57	16.3	0.42	17.4	23.6	4.160	15.9	17.2	2.73	**59.0**	**57.1**	**6.83**	**9026**
	3	3.20	19.7	0.63	18.6	34.7	6.454	16.4	23.0	3.78	**38.2**	**57.7**	**10.8**	**9255**
2	1	5.60	12.2	0.68	24.1	10.9	2.629	20.1	7.20	1.45	**49.8**	**30.3**	**4.76**	**8644**
	2	5.07	15.2	0.77	25.6	25.4	6.502	24.2	19.2	4.64	**54.8**	**59.8**	**11.9**	**9178**
	3	4.29	24.5	1.05	22.3	35.8	7.986	23.1	22.1	5.12	**49.7**	**82.4**	**14.2**	**9966**
3	1	8.58	10.6	0.91	28.6	9.21	2.634	27.1	8.16	0.35	**64.3**	**27.8**	**3.89**	**9024**
	2	8.97	14.3	1.28	29.4	22.5	6.609	25.9	20.1	5.22	**64.3**	**56.9**	**13.1**	**9184**
	3	9.19	25.5	2.34	31.2	38.6	12.04	28.1	24.1	6.77	**68.5**	**88.2**	**21.5**	**10646**

LSD	0,05	0,01
A	585.6	841.5
B	543.5	780.9
AB	1324.3	240.8

A1 = dry farming; A2 = 60%-100% FWC; A3 = 80%-100% FWC; B1 = control; B2 = 100 kg N ha^{-1}; B3 = 200 kg N ha^{-1}; AB = irrigation x N fertilization; C = concentration of the percolate (mg/l)

Table 3 Yield (kg ha^{-1}), amount of percolate (l ha^{-1}) and NO_3 (kg ha^{-1}) in vegetation season 2006

The highest amount of NO_3 - N percolate was found in plots fertilized with the highest amount of N (200 kg N ha^{-1}, as follows: at dry farming A1B3 = 10.8 kg ha^{-1}; A2B3 = 14.2 kg ha^{-1}; A3B3 = 21.5 kg ha^{-1}). Well, with the increasing of N fertilizer and applied water by irrigation total amount of NO_3 in percolate also increased, that is in accordance to Josipović et al., (2006) and Mesić et al., (2007). Maximum percolate at dry farming was measured at B2 = 59 l m^2. At A2 and variant of irrigation maximum percolate was measured at A2B2 = 54.8 l m^2. At A3 variant of irrigation maximum percolate was measured at A3B3 = 68.5 l m^2. Maximum yield of maize grain in vegetation season 2008 (Table 4) was achieved at A3B3 (irrigation with the highest amount of water and fertilization with the highest amount of N fertilizer) variant - 9 991 kg ha^{-1} (28.78% higher compare to the control), while the minimum yield was achieved at control A1B1 = 7 115 kg ha^{-1}. Maximum percolate at dry farming in year 2008 (A1 = control) was measured at A1B1 = 38.3 l m^2. At A2B1 = 47.2 l m^2 and at A3 = 57.7 l m^2. Amount of NO_3 in percolate, similar in year 2006 increased as N fertilizer and applied water by irrigation increased: A1B1 = 1.84 kg ha^{-1} to A3B3 = 12.4 kg ha^{-1}. According to Josipović et al. (2006), NO_3-N leaching rates under conditions of the eastern Croatia are under dangerous degree for groundwater contamination, especially because N fertilization is mainly lower than 200 kg ha^{-1}. Mesić et al. (2007) also concludes that sustainable mineral fertilizer rate for corn in the given agro ecological conditions range between 150 and 200 kg ha^{-1} of mineral nitrogen. Additional amounts of N could cause increase in yield and in grain N content, but with stronger adverse effects on water quality.

		May 2008			June 2008			October 2008			**Total**			**Yield**
A	B	l/m^2	C mg/l	NO_3 kg/ha	l/m^2	C mg/l	NO_3 kg ha^{-1}	l/m^2	C mg/l	NO_3 kg/ha	**l m^2**	**C mg l**	**NO_3**	**kg ha^{-1}**
1	1	3.1	8.23	0.255	14.3	7.21	1.031	10.9	5.12	0.558	**38.3**	**20.6**	**1.84**	**7115**
	2	2.9	28.94	0.839	15.6	16.14	2.518	12.7	14.8	1.882	**31.1**	**59.9**	**5.24**	**8484**
	3	2.0	34.92	0.698	16.2	22.60	3.661	11	19.3	2.119	**29.2**	**76.8**	**6.48**	**9037**
2	1	7.1	5.04	0.360	21	5.91	1.241	19.1	4.26	0.814	**47.2**	**15.2**	**2.42**	**7723**
	2	8.2	29.62	2.417	20.4	14.92	3.044	17.4	12.6	2.194	**45.9**	**57.2**	**7.65**	**9753**
	3	9.00	35.81	3.223	18.7	23.14	4.325	18	18.6	3.355	**45.7**	**77.6**	**10.9**	**9391**
3	1	11.0	4.10	0.452	25.4	5.26	1.336	21.3	3.16	0.673	**57.7**	**12.5**	**2.46**	**8273**
	2	10.4	27.68	2.879	23.6	13.82	3.262	20.7	11.5	2.376	**54.7**	**52.9**	**8.52**	**9456**
	3	9.80	36.13	3.541	22.8	21.17	4.827	19.8	20.6	4.081	**52.4**	**77.9**	**12.4**	**9991**
LSD		0.05		0.01	A1 = dry farming; A2 = 60%-100% FWC; A3 = 80%-100% FWC; B1 = control; B2 = 100 kg Nha^{-1}; B3 = 200 kg N ha^{-1}; AB = irrigation x N fertilization; C = concentration of the percolate									
A		558.4		802.2										
B		606.9		872.1										
AB		1478.8		2714.6										

Table 4 Yield (kg ha^{-1}), amount of percolate (l ha^{-1}) and NO_3 (kg ha^{-1}) in vegetation season 2008

CONCLUSIONS

Irrigation practise should be planned and carried out in accordance to weather conditions and crop water requirements so that the loss of nitrate, water and soil pollution could be avoided. Given results have shown that keeping the soil water content from 80% to 100% FWC and fertilization with 200 kg N ha -1 increases yield of maize grain and in the same time has no harmful effect to environment. According to results of the study it could be concluded that mineral fertilization with 200 kg N ha-1 lead to slightly pollution. Combination of treatments A2B2 or A2B3 should be compromise solution for good and

stabile maize grain yield and low N pollution. This research has show the usefulness of lysimeter's to irrigation practice and application of N fertilizer in order to achieve high yield of maize grain and to respect sustainable agricultural production.

REFERENCES

[1] Ajdary K., Singh D. K., Singh A. K. Khanna M. (2007): Modelling of nitrogen leaching form experimental onion field under drip fertigation. Agriculture water management, 89: 15-28.

[2] County of Osijek-baranja (2006): Program for environment protection of Osijek-baranja region. 16-17. Available at www.obz.hr (31.01.2011., 20:09).

[3] Hu K., Chen D., Wei Y., Li Y., Li B. (2010): Optimizing water and nitrogen management for irrigated maize in desert oases in northwester China. Proceedings of 19th World Congress of Soil Science. Soils Solution for a Changing World. 1-6 August, 2010. 164-165.

[4] Josipović M., Kovačević V., Šoštarić J., Plavšić H., Liović I. (2006): Influence of irrigation and fertilization on soybean properties and nitrogen leaching. Proceedings of 5th Alps-Adria Scientific Workshop. 6-11 March, Opatija, Croatia.

[5] Josipović M., Plavšić H., Brkić I., Sudar R., Marković M. (2010): Irrigation. nitrogen fertilization and genotype impacts on yield and quality of maize. IX. Alps-Adria Scientific Workshop. Špičak, Czech Republic, 2010. Vol. 59. 255-259.

[6] Kengni L., Vachaud G., Thony J. L., Laty R., Garino B., Casabiance H., Jame P., Viscogliosi R. (1994): Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. Journal of Hydrology. Vol. 162 (1-2). 23-46.

[7] Mesić M., Bašić F., Kisić I., Butorac A., Gašpar I. (2007): Influence of mineral nitrogen fertilization on corn grain yield and nitrogen leaching VI. Alps-Adria Scientific Workshop. Obervellach, Austria, 2007. 773-776.

[8] Nemeth T. (2006): Nitrogen in the soil-plant system, nitrogen balances. Cereal research communications 34(1). 61-64.

[9] Nemcic Jurec J., Mesic M., Basic F., Kisic I., Zgorelec Z. (2007): Nitrate concentration in drinking water from wells at three different location in northwest Croatia. Proceedings of VI. Alps-Adria Scientific Workshop. Obervellach, Austira, 2007. 533-536.

[10] Vukovic I., Mesić M., Zgorelec Z., Jurisic A., Sajko K. (2008): Nitrogen use efficiency in winter wheat. Proceedings of VI. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna, Slovakia, 2008. 1199-1202.

[11] Kristof K., Kampfl G., Heltai G., Nótas E., Algaidi A. (2007): Examination of NOx and CO2 production in agricultural soils. VI. Alps-Adria Scientific Workshop. Obervellach, Austria, 2007. 689-692.

AUTORI

Monika Marković, dipl. ing. agr.[a]
dr. sc. Marko Josipović [b]
prof. dr. sc. Jasna Šoštarić [a]
dr. sc. Ivan Brkić [b]
dr. sc. Goran Krizmanić [b]
mr. sc. Hrvoje Plavšić [b]

[a] Faculty of Agriculture Osijek, University of J. J. Strossmayer in Osijek, Trg Sv. Troj/stva 3,31 000 Osijek, Croatia, monika.markovic@pfos.hr

[b] Agricultural Institute in Osijek, J. predgrađe 17, 31000 Osijek, Croatia, marko.josipovic@poljinos.hr

TEMA 3.

SUSTAVI JAVNE VODOOPSKRBE, ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI

Recenzenti:

Danko Biondić, Sanja Barbalić, Davor Malus, Jure Margeta, Zlatko Mihaljević, Siniša Širac, Elvira Vidović, Darija Vukić Lušić

R 3.01.

PRIPREMA VELIKIH INFRASTRUKTURNIH PROJEKATA ZA FINANCIRANJE PUTEM KOHEZIJSKOG FONDA EUROPSKE UNIJE

Robert Kartelo

SAŽETAK: U radu su dane osnovne informacije o pripremi velikih infrastrukturnih projekata iz domene vodnoga gospodarstva. Opisana je organizacija provedbe pripreme projekata i način odabira indikativne liste projekata. Također je dan pregled potrebne dokumentacije potrebne za prijavu projekata do njihova odobrenja od strane Europske komisije. Za svaku od faza predstavljeni su osnovni elementi, potrebna studijsko projektna dokumentacija, traženi rezultati, te posebnosti pripreme koje traži Europska unija.

KLJUČNE RIJEČI: priprema projekata, EU fondovi, Kohezijski fond, studija izvodljivosti, projektni timovi, sustav praćenja projekata, operativni program

PREPARATION OF MAJOR INFRASTRUCTURAL PROJECTS TO BE FINANCED THROUGH THE EUROPEAN UNION'S COHESION FUND

SUMMARY: The paper provides basic information on the preparation of major infrastructural projects in the field of water management. It describes how the implementation of project preparation is organized and how an indicative project list is selected. It also gives an overview of documents required for making project applications until their approval by the European Commission. For each step it presents the basic elements, the required studies and design documents, the required results, and the specifics of preparation required by the European Union.

KEYWORDS: project preparation, EU funds, Cohesion Fund, feasibility study, project teams, project monitoring system, operational programme

1. UVOD

Republika Hrvatska kao buduća zemlja članica Europske unije ima obavezu uskladiti svoje zakonodavstvo sa zakonodavstvom Europske unije, odnosno ispuniti obaveze iz pristupnog ugovora između Hrvatske i Europske unije.

Europska unija osigurava financijsku pomoć u ispunjavanja navedenih obaveza putem pretpristupnih fondova za vrijeme pristupanja, odnosno sredstvima iz kohezijskih i strukturnih fondova nakon pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji.

Hrvatska trenutno koristi pretpristupne programe Europske unije, od kojih je za sektor voda relevantan IPA pretpristupni program i to komponenta IIIb Zaštita Okoliša, koji za razdoblje 2007. - 2011. osigurava bespovratna sredstva u iznosu od 47.705.250 eura.

Za stjecanje stvarnog prava vezano uz povlačenje sredstava koja su Republici Hrvatskoj na raspolaganju bilo je potrebno izraditi programske dokumente (Nacionalni strateški referentni okvir, Operativni program Okoliš) i uspostaviti Operativnu strukturu.

Tijela koja čine Operativnu strukturu unutar IPA programa komponente IIIb (Operativni program Okoliš) trebala su proći zahtjevan postupak stjecanja akreditacije kojim su dokazala da posjeduju potrebnu organizaciju, kvalificirane kadrove i znanja koja im omogućuju pripremu i provedbu konkretnih projekata, odnosno povlačenje raspoloživih sredstava u skladu s relevantnim procedurama Europske unije.

Prethodno odobravanju sredstava za sufinanciranje pojedinačnih projekata, Europska komisija traži čitav niz programskih dokumenata koje je potrebno napraviti na nacionalnoj razini, počevši od strateških dokumenata, do tzv. Operativnog programa putem kojeg se konkretiziraju projekti, te Aplikacijskog dokumenta za pojedini projekt.

Danom pristupa Europskoj uniji Republika Hrvatska steći će pravo pristupa sredstvima iz kohezijskih i strukturnih fondova. Točan iznos sredstava koji će biti na raspolaganju definirati će se tijekom procesa pretpristupnih pregovora (temeljem ukupne vrijednosti spremnih projekata, koje hrvatska strana treba prezentirati europskoj strani). Izvjesno je da će iznos sredstava za sektor voda biti višestruko veći od sada dostupnih putem IPA fonda. Prema izrađenom prijedlogu financijskog paketa za Hrvatsku, bespovratna sredstva za vodno gospodarstvo koja bi bila na raspolaganju za 2012. i 2013. godinu iznose oko 330 milijuna eura.

Za stjecanje stvarnog prava vezano uz povlačenje sredstava koja će biti alocirana, potrebno je kao i u slučaju pretpristupnih programa izraditi programske dokumente (Nacionalni strateški referentni okvir, Operativni program Okoliš i energetika). Tijela koja će sačinjavati strukturu koja će biti odgovorna za upravljanje sredstvima koja su na raspolaganju, trebaju proći postupak potvrđivanja akreditacije, kojim će dokazati da posjeduju potrebnu organizaciju, broj ljudi i znanja koja im omogućavaju pripremu konkretnih projekata, sukladno procedurama Europske unije, a koji će biti osnova za povlačenje raspoloživih sredstava.

U tijeku su intenzivne pripreme cijelog sustava na državnoj razini za strukturne i kohezijske fondove Europske unije. Cijeli postupak pripreme sustava vodi Središnji državni ured za razvojnu strategiju i koordinaciju EU fondova (SDURF).

2. RASPOLOŽIVA ALOKACIJA SREDSTAVA PUTEM EU FONDOVA

Europska unija definira svoja proračunska sredstva u 7-godišnjim financijskim razdobljima. Trenutno je na snazi proračun za financijsko razdoblje 2007. - 2013. Ovisno o datumu ulaska Republike Hrvatske u Europsku uniju, 2012. ili 2013. godine, biti će nam na raspolaganju sredstva EU fondova za 2012. i 2013. ili samo za 2013. godinu. Prema informacijama radilo bi se o cca. 160 - 170 milijuna eura godišnje. Točan iznos znati će se nakon okončanja pristupnih pregovora, odnosno datumom ulaska Hrvatske u Europsku uniju.

Kako Europska unija ne financira 100% već maksimalno do 85% potrebnih sredstava,

ostatak sredstava se mora osigurati nacionalnim sufinanciranjem. Treba napomenuti da se točan iznos EU financiranja definira specifično na razini svakog pojedinog projekta. Za očekivati je da sufinanciranje EU ne bi trebalo biti ni u najnepovoljnijem slučaju ispod 50%, a realno je očekivati između 65 - 75% potrebnih sredstava, što znači da bi Republika Hrvatska trebala dodatno na prethodni iznos osigurati još oko 50 milijuna eura godišnje.

Ukupno bi iznos raspoloživ za projekte korištenja i zaštite voda uključivo EU donaciju i nacionalnu komponentu bio 210 - 230 milijuna eura godišnje. Navedeni iznosi su indikativne vrijednosti, a točne vrijednosti biti će utvrđene prilikom usvajanja financijskog paketa za Republiku Hrvatsku od strane Europske Unije.

3. OPERATIVNI PROGRAM 2012. - 2013. - INDIKATIVNA LISTA PROJEKATA

Operativni program čija je izrada u tijeku predstavlja osnovni programski dokument. U njemu posebnu ulogu ima indikativna lista velikih projekata. Ova lista kao što sam naziv govori je indikativna, što znači da se samo indiciraju prioritetni projekti od strane Republike Hrvatske za koje se predlaže sufinanciranje Europske unije, pri čemu se ne moraju realizirati svi projekti s ove liste, ali je isto tako i obvezujuća na način da nije moguće prijaviti projekte za sufinanciranje ako se ne nalazi na indikativnoj listi.

Nadalje, ukoliko se projekt sa indikativne liste ne realizira unutar jednog financijskog razdoblje, u principu se on automatizmom prebacuje u sljedeće financijsko razdoblje, osim ako nije na drugi način realiziran.

Hrvatske vode izradile su prijedlog indikativne liste projekata na kojemu se nalazi 39 projekata, u ukupnoj vrijednosti od 1,1 milijarde eura. Na indikativnoj listi je 7 projekata regionalnih vodoopskrbnih sustava ukupne vrijednosti od 328 milijuna eura, dok su ostali projekti, projekti zaštite voda koji također mogu imati i komponentu vodoopskrbe, ali na razini aglomeracije, odnosno postojećeg sustava.

Indikativna lista sastavljena je prema slijedećim kriterijima:

1. sukladnost s vodnokomunalnim direktivama EU,
2. sukladnost s pregovaračkim kriterijima Republike Hrvatske s Europskom unijom (projekti su na područjima aglomeracija koje je Republika Hrvatska uputila Europskoj uniji kao pregovaračko stajalište),
3. nalaze se na indikativnoj listi projekata iz IPA Operativnog programa za okoliš 2007. - 2009. (ovi se projekti prenose automatski u sljedeći Operativni Program),
4. za njih su već potpisani ugovori o pripremi projekata putem različitih međunarodnih donacija (Francuska donacija, Bavarska donacija, PHARE 2006 projekti i drugo),
5. projekti su od interesa za zaštitu izvorišta voda za piće,
6. projekti su identificirani sukladno procjeni spremnosti za implementaciju napravljenoj u travnju 2009. godine za potrebe PHARE 2006 projekta.

Prijedlog liste projekata predan je Ministarstvu regionalnog razvoja šumarstva i vodnoga gospodarstva, koje ga je proslijedilo ostalim institucijama sustava uključenim u programiranje EU fondova.

4. PRIPREMA PROJEKATA

Hrvatske vode sukladno svojim nadležnostima, a vodeći računa da na sebe preuzimaju ulogu provedbene Agencije u sektoru voda poduzele su potrebne aktivnosti na intenziviranju pripreme pojedinačnih projekata, kako bi danom pristupa Republike Hrvatske Europskoj uniji mogle odmah krenuti s prijavom projekata i povlačenjem sredstava iz Kohezijskog fonda. Priprema se provodi sukladno sljedećim aktivnostima:

1. Detaljni pregled postojećeg stanja studijsko - tehničke dokumentacije svakog projekta,
2. Analiza potrebne projektno - tehničke dokumentacije,
3. Analiza spremnosti za implementaciju,
4. Prijedlog ocjene spremnosti projekta,
5. Definiranje prioritetnih projekata,
6. Priprema studijsko - planskih dokumenata,
7. Priprema tehničke dokumentacije,
8. Priprema prijave projekta,
9. Rješavanje imovinsko - pravnih odnosa,
10. Ishođenje potrebnih dozvola i akata za građenje,
11. Provođenje postupka prijave projekta,
12. Izrada natječajne dokumentacije za građenje,
13. Osposobljavanje krajnjih korisnika - komunalnih poduzeća.

Navedene aktivnosti će se obzirom na kratko raspoloživo vrijeme neizbježno preklapati, što će zahtijevati dodatne koordinacijske napore.

5. SREDSTVA POTREBNA ZA PRIPREMU PROJEKATA - PLAN 2010. - 2011.

Hrvatske vode osigurale su sufinanciranje izrade projektno studijske dokumentacije za svih 39 projekata s indikativne liste (Tablica 1.) u 100% - tnom iznosu. Prema procjenama, za pripremu projekata do razine spremnosti za postupak prijavljivanja Europskoj uniji, potrebno je osigurati oko **220 milijuna kuna.**

BR.	Naziv projekta	Indikativna vrijednost investicije u €	BR.	Naziv projekta	Indikativna vrijednost investicije u €
1	RVS Bjelovarsko - Bilogorske Žup.	55.000.000	21	Čakovec	20.000.000
2	RVS Koprivnica - Križevci Žup.	52.000.000	22	Varaždinska županija	25.000.000
3	Đakovo	16.500.000	23	RVS Zagreb Istok	70.000.000
4	Nova Gradiška	13.000.000	24	RVS Moslavačka posavina	20.000.000
5	Osijek	85.000.000	25	RVS Sisačko Moslavačka županija	33.000.000
6	Vukovar	48.700.000	26	Betina - Murter	11.000.000
7	Vrbovec	17.000.000	27	Kaštela - Trogir	44.000.000
8	Krapina	5.800.000	28	Daruvar	6.000.000
9	Dugo Selo	21.200.000	29	Križevci	6.000.000
10	Samobor	23.700.000	30	Kutina	5.000.000
11	Velika Gorica	46.600.000	31	Lipik - Pakrac	8.500.000
12	Zaprešić	41.000.000	32	Pleternica	11.000.000
13	Poreč	58.206.000	33	Županja	9.000.000
14	Nin	33.700.000	34	Pitomača	6.000.000
15	Petrinja	15.500.000	35	RVS Osijek	75.000.000
16	Valpovo	7.900.000	36	RVS Istočne Slavonije	23.000.000
17	Krk	25.000.000	37	Vodice - Tribunj	35.000.000
18	Rijeka	25.000.000	38	Rovinj	30.000.000
19	Istarski vodozaštini sustav	40.000.000	39	Belišće	10.000.000
20	Virovitica	17.000.000			

Tablica 1. Pregled projekata s indikativne liste s procijenjenim vrijednostima investicija

6. ORGANIZACIJA PROVEDBE

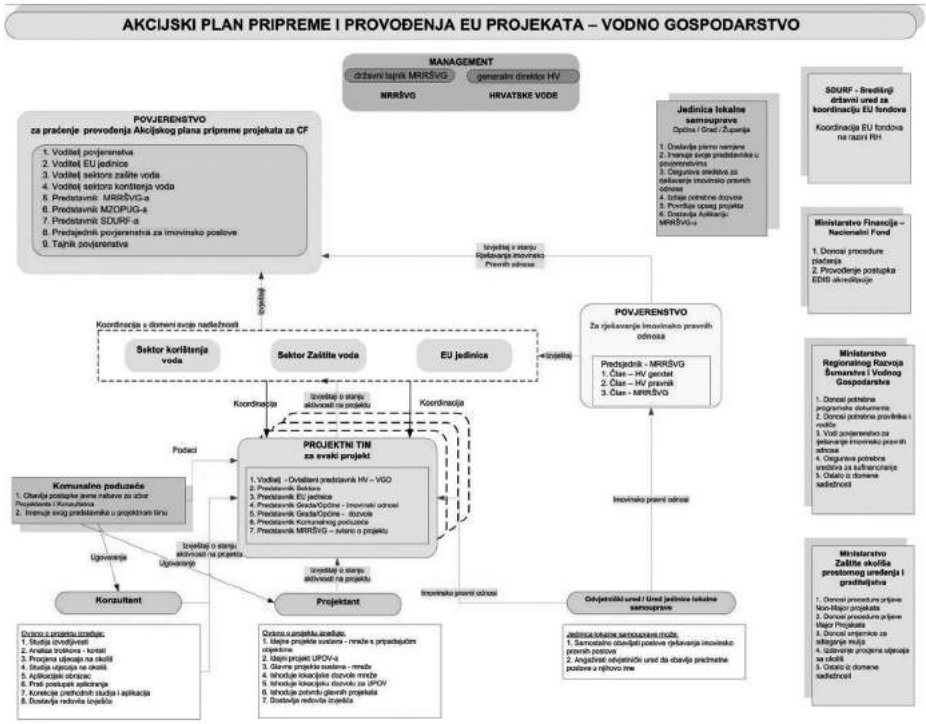
Projekte je neophodno pripremiti do 2012. godine, što uključuje pripremu projektnih aplikacija sa pripadajućom studijskom dokumentacijom i pripremu projektne dokumentacije sukladno nacionalnim propisima, rješavanje imovinsko pravnih odnosa, te ishođenje potrebnih dozvola.

S obzirom na relativno kratki rok i veliki broj aktivnosti koje se moraju provesti istovremeno, pripremljeni su detaljni dinamički planovi pripreme i realizacije projekata pojedinačno koji prikazuju sve aktivnosti pripreme projektne dokumentacije i aplikacije, pripreme natječajne dokumentacije nakon odobrenja projekta, te provođenja samog projekta i vremenske rokove provođenja svih navedenih aktivnosti za svaki projekt do kraja implementacije svakog od projekta.

Sukladno usvojenoj organizacijskoj shemi, koja je dio Plana upravljanja vodama za 2010. godinu, projekti se pripremaju uz temeljnu koordinaciju putem projektnih timova koji su osnovani za svaki projekt posebno. U timove su imenovani predstavnici Hrvatskih voda, predstavnici komunalnih poduzeća i jedinica lokalne samouprave, te na pojedinim projektima i Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, kako bi se osigurala suradnja svih tijela uključenih u projekt i samim time osiguralo uspješno i pravovremeno provođenje svih aktivnosti pripreme projekata.

Koordinaciju svih projektnih timova obavlja koordinacijsko povjerenstvo sastavljeno od predstavnika Hrvatskih voda, predstavnika Ministarstva regionalnog razvoja šumarstva i vodnoga gospodarstva, Ministarstva zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva, SDURF-a, te voditelja radne skupine za rješavanje imovinsko - pravnih odnosa, koje podnosi izvještaje managementu koji se sastoji od generalnog direktora Hrvatskih voda i državnog tajnika u Ministarstvu regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva.

U svrhu osiguravanja jedinstvenog pristupa svih pripremnih aktivnosti na svim predloženim projektima Hrvatske vode izradile su dokument „Priprema projekata za EU fondove - Provedbena dokumentacija“, kojim su standardizirani postupci i obrasci putem kojih će se provoditi priprema projekata, a posebice postupak provođenja javne nabave. Izrađen je i informatički sustav koji omogućava centralizirano praćenje projekta i lakšu komunikaciju svih projektnih timova.



Slika 1.Akcijski plan pripreme i provođenja EU projekata - vodno gospodarstvo

7. FINANCIRANJE PROJEKATA

Iako Europska unija donira sredstva za svaki od projekata u maksimalnom iznosu od 85%, točan iznos znati će se tek nakon izrade financijske analize i analize troškova - koristi svakog projekta ponaosob. Za očekivati je da bespovratna sredstva neće biti manja od 65% ukupnih planiranih sredstava. Ostatak potrebnih sredstava potrebno je osigurati putem nacionalnog sufinanciranja. Mogući izvori nacionalnog sufinanciranja su:

1. Državni proračun,
2. proračuni jedinica lokalne samouprave (županija, gradova),
3. povrat putem cijene vode,
4. sredstva Hrvatskih voda,
5. kreditna sredstva (HBOR, EBRD, EIB, krediti komercijalnih banaka).

8. POTREBNA DOKUMENTACIJA ZA PRIJAVU PROJEKTA EUROPSKOJ KOMISIJI

Europska komisija poznaje tzv „velike“ i „male“ infrastrukturne projekte. Veliki projekti su pojedinačni projekti čija ukupna investicijska vrijednost prelazi 50 milijuna eura, dok se projekti ispod ove granice nazivaju „mali“ projekti.

Za „velike“ projekte Europska komisija propisala je standardni obrazac za prijavu projekata, kao i potrebnu studijsko projektnu dokumentaciju koju je potrebno priložiti, odnosno izraditi kako bi se projekt mogao prihvatiti. Za „male“ projekte Hrvatska definira sama svoju proceduru pripreme i obrasce, te načine prihvaćanja svakog projekta. Iskustva drugih zemalja pokazuju da je potrebna dokumentacija nešto manje zahtjevna od one za „velike“ projekte.

Prijava svakog velikog projekta treba sadržavati slijedeće elemente:

1. ispunjen obrazac prijave projekta,
2. studiju izvodljivosti,
3. analizu troškova - koristi,
4. analizu učinka na okoliš,
5. financijski plan,
6. ispunjene projektne obrasce.

Ovo je osnovni set dokumentacije koja se predaje pri prijavi projekta. Prethodnim dokumentima dokazuje se da li je projekt prihvatljiv za sufinanciranje od strane EU, kao i iznos alokacije EU sredstava. Kako bi projekt mogao biti prihvaćen mora se pokazati i tzv „zrelost“ projekta, odnosno spremnost projekta za implementaciju. To konkretno znači da bi se za sve prijavljene radove na projektu trebalo imati izrađene glavne projekte i ishođene građevinske dozvole, osim za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda za koje je dovoljno imati idejni projekt i ishođenu lokacijsku dozvolu (naravno to uključuje i Studiju utjecaja na okoliš).

Jedno od vrlo važnih pitanja spremnosti projekta je i da li su riješeni imovinsko - pravni odnosi na svim objektima projekta. Iskustva drugih zemalja koje su pristupile EU u sklopu proširenja 2004 i 2007. godine pokazuju da brojni projekti „padaju“ baš zbog ovog pitanja. Obzirom na specifičnost EU projekata, moguća je situacija da se zbog malog dijela neriješenih odnosa stopira cijeli projekt.

9. KONCEPCIJA PROJEKTA

Projekti koji se prijavljuju su oni kojima se rješava prilagodba Hrvatske pravnoj stečevini Europske unije. Konkretno je riječ o ostvarenju obveza iz pristupnog ugovora i to prvenstveno o provedbi tzv. financijski teških direktiva: Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, Direktivi o vodi za piće, te o Okvirnoj direktivi o vodama.

Za razliku od dosadašnjeg načina pripreme projekta po dionicama, pristup se mora promijeniti i svaki bi projekt trebao biti zaokružena cjelina koja bi riješio u potpunosti ili u većoj mjeri cijeli prostor/aglomeraciju. Europska unija upravo traži da se odmah nakon projekta osigura konkretna korist na području obuhvata projekta. Projekti stoga trebaju uključivati ne samo magistralne cjevovode i glavne kolektore, već i mrežu i sekundarne kolektore, sve do priključka. Isto tako bi se pri izgradnji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, u principu trebalo osigurati da stupanj pročišćavanja nakon završetka projekta bude jednak traženom konačnom stupnju pročišćavanja. Također projekti mogu uključivati ne samo izgradnju novih objekata već i rekonstrukciju i sanaciju postojećih, odnosno dovođenje postojećih sustava u funkcionalno stanje.

ZAKLJUČAK

Ulaskom u Europsku uniju, Hrvatska će imati pristup značajnim sredstvima EU fondova za prilagodbu s europskom pravnom stečevinom. U sektoru vodnog gospodarstva radi se prvenstveno o 3 tzv. „teške“ direktive: Direktiva o vodi za piće, Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, te Okvirnoj direktivi o vodama. Jedini način za povlačenje raspoloživih sredstva je putem projekata koji moraju biti pripremljeni sukladno zahtjevima koje propisuje Europska komisija. Priprema ovih projekata izuzetno je zahtjevna, složena i dugotrajna. Hrvatske vode prepoznale su potrebu izrade većeg broja projekata kako bi ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju sredstva koja će nam biti na raspolaganju mogla biti i realizirana.

LITERATURA

[1] EC Council Regulation No 1085/2006 of 17 July 2006 establishing an Instrument for Pre-Accession Assistance(IPA);

[2] Commission Regulation (EC) No 718/2007 of 12 June 2007 implementing Council Regulation (EC) No 1085/2006 establishing an instrument for pre-accession assistance (IPA);

[3] Commission Regulation (EC) No 1828/2006 of 8 December 2006 setting out rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 1083/2006 laying down general provisions on the European Regional Development Fund, the European Social Fund and the Cohesion Fund and of Regulation (EC) No 1080/2006 of the European Parliament and of the Council on the European Regional Development Fund;

[4] Commission Decision C(2007)2566 of 20/06/2007 on a Multi-annual Indicative Planning Document 2007 -2009 for Croatia

[5] The Multi-Annual Indicative Financial Framework (MIFF) for the Instrument of Pre-Accession Assistance (IPA) for 2008-2010

[6] EC Council Regulation No 2185/1996 concerning on-the-spot checks and inspections carried out by the Commission in order to protect the European Communities' financial interests against fraud and other irregularities;

[7] EC Council Decision 1999/468/EC of 28 June 1999 laying down the procedures for the exercise of implementing powers conferred on the Commission.

[8] Commission' Guidance Documents: (http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/working/sf2000_en.htm)

- Working Document No 1: Indicative Guidelines on Evaluation Methods: Ex-Ante Evaluation;
- Working Document No 2: Indicative Guidelines on Evaluation Methods: Monitoring and Evaluation Indicators;
- Working Document No 3: Commission Methodological Paper giving guidelines on the calculation of public or equivalent structural spending for the purpose of additionality;
- Working Document No 4: Guidance on the Methodology for carrying out Cost-Benefit Analysis;

  Working Document No 5: Indicative Guidelines on Evaluation Methods: Evaluation during the Programming Period.

AUTOR

Robert Kartelo, dipl.ing.građ.

Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, rkartelo@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.02.

UPRAVLJANJE SREDSTVIMA EU-a ZA SUFINANCIRANJE INFRASTRUKTURNIH PROJEKATA U SEKTORU VODA

Mojca Lukšić

SAŽETAK: Cilj europskih sredstava je pomoći Republici Hrvatskoj u procesima prilagodbe i usuglašavanja nacionalne legislative s europskom, te u provedbi ove usuglašene legislative. Pripremom programskih dokumenata za korištenje europskih sredstava definiraju se konkretni sektorski ciljevi, mjere, indikativne liste projekata. Valja istaknuti da se tip projekata koji su se predlagali u ovim programima nije mijenjao, bazirao se na infrastrukturnim projektima kojima se postižu ciljevi dvaju direktiva: Direktive o vodi za piće i Direktive o pročišćavanju otpadnih voda sustava javne odvodnje.

Organizacija sustava upravljanja sredstvima Europske unije za sufinanciranje infrastrukturnih projekata u sektoru voda se, bez obzira što su svi programski dokumenti cijelo vrijeme bazirani na istom tipu infrastrukturnih projekata, mijenjala i dalje se namjerava mijenjati.

Najvažniji zadatak u razdoblju do punopravnog pristupa je priprema velikog broja projekata kojima bi se osiguralo povlačenje europskih sredstava. Organizacija upravljanja sredstvima Europske unije u razdoblju nakon pristupa morati će biti sposobna upravljati značajno većim sredstvima i značajno većim brojem projekata nego je to bio slučaj do sada. Sudjelovanje vodno-komunalnih tvrtki i iskorištavanje njihovih stručno tehničkih kapaciteta u upravljačku strukturu nakon punopravnog pristupa ključno je za jačanje upravljačkog sustava i za postizanje programskih ciljeva i iskorištavanje svih raspoloživih europskih sredstava.

KLJUČNE RIJEČI: europska sredstva, upravljački sustav, sektor voda

SUMMARY: The purpose of European funds is to assist the Republic of Croatia in the processes of adjustment and harmonization of the national legislation with EU legislation and in its implementation. With the preparation of programming documents on the absorption of European funds, specific sectoral goals, measures, and indicative project pipelines are defined. It has to be noted that the type of projects proposed in these programmes hasn't changed; it was based on infrastructural projects through which the objectives of two directives are achieved: the Drinking Water Directive and the Urban Waste Water Treatment Directive.

Despite the fact that all programming documents were based on the same type of infra-

structural projects, the organization of the system for the management of EU funds for the co-financing of infrastructural projects in the water sector has changed and will continue to do so.

The most important task in the period until full accession to the EU is the preparation of a large number of projects which would ensure the absorption of European funds. The organization of EU funds management in the post-accession period will have to be able to manage considerably larger amounts and a considerably larger number of projects than so far. The participation of water utility firms and the inclusion of their expert and technical capacities into the management structure upon full accession are key to improving the management system, achieving programme objectives, and utilizing all available European funds.

KEY WORDS: European funds, management system, water sector

1. UVOD

Stjecanjem statusa zemlje kandidata za članstvo u Europskoj uniji Republici Hrvatskoj na raspolaganju su sredstva pretpristupnih fondova Europske unije. Cilj ovih sredstava je pomoći Republici Hrvatskoj u procesima prilagodbe i usuglašavanja nacionalne legislative s europskom, te u provedbi ove usuglašene legislative. Pripremom programskih dokumenata za korištenje europskih sredstava definiraju se konkretni sektorski ciljevi, mjere, indikativne liste projekata kojima će se postići ovi ciljevi definirani novom, usuglašenom nacionalnom legislativom. Valja istaknuti da se programski ciljevi i mjere u programskim dokumentima ISPA i IPA programa nisu u bitnome razlikovali. Indikativne liste projekata su se u ovim programskim dokumentima nadopunjavale, ali nisu se u bitnome razlikovale po tipu projekata koji su se predlagali. Sredstva koja su na raspolaganju Republici Hrvatskoj za provedbu infrastrukturnih projekata u sektoru voda prvenstveno se odnose na velike infrastrukturne projekte kojima se postižu ciljevi dvaju direktiva: Direktive o vodi za piće i Direktive o pročišćavanju otpadnih voda sustava javne odvodnje.

Organizacija sustava upravljanja sredstvima Europske unije za sufinanciranje infrastrukturnih projekata u sektoru voda se, bez obzira što se u svim programskim dokumentima (ISPA, IPA program, programski dokumenti koji su u pripremi za korištenje sredstava nakon punopravnog pristupa) cijelo vrijeme baziralo na istom tipu infrastrukturnih projekata, mijenjala i dalje se namjerava mijenjati. Iz relevantnih odluka Vlade Republike Hrvatske o strateškim dokumentima i institucionalnom okviru za korištenje strukturnih instrumenata Europske Unije u Republici Hrvatskoj od listopada 2010., jasno je da ponovno dolazi do promjene sustava upravljanja sredstvima Europske unije u odnosu na postojeći sustav.

Upravljanje sredstvima Europske unije u Republici Hrvatskoj uređeno je legislativom Europske unije s jedne strane i nizom uredbi i odluka Vlade Republike Hrvatske s druge strane. Organizacija upravljačkog sustava uvelike ovisi o iznosu sredstava koji su na raspolaganju Republici Hrvatskoj u pojedinom razdoblju. U pretpristupnom razdoblju iznos ovih sredstava je vrlo ograničen. Nakon punopravnog pristupa Republike Hrvatske sredstva koja će biti na raspolaganju biti će značajno veća. Iako je jasno da nacionalni sustav upravljanja sredstvima mora biti prilagođen legislativi Europske unije, ipak Republika Hrvatska ima veliku mogućnost kreiranja svog vlastitog sustava koji će u nacionalnim

uvjetima omogućiti uspješno povlačenje sredstava. U pretpristupnom razdoblju sustav upravljanja sredstvima počeo se stvarati na državnoj razini i uglavnom je uključivao središnja državna tijela, odnosno ministarstva. Znajući da je iznos sredstava koji je bio na raspolaganju Republici Hrvatskoj u ovom razdoblju bio značajno manji od iznosa koji se može očekivati nakon punopravnog pristupa Europskoj uniji, ovakva centralizacija sustava je bila opravdana i uvjetovana okolnostima u kojima se Republika Hrvatska nalazila. Punopravnim članstvom Republike Hrvatske očekuje se decentralizacija sustava i uključivanje jedinica lokalne uprave i vodno-komunalnih poduzeća.

Punopravnim članstvom Republike Hrvatske Europskoj uniji otvoriti će se pristup značajno većim sredstvima koji će se moći povlačiti za sufinanciranje infrastrukturnih projekata u sektoru voda. Najvažniji zadatak u razdoblju do punopravnog pristupa je priprema velikog broja projekata do stupnja spremnosti za odobrenje i provedbu kako bi se osiguralo povlačenje ovih sredstava, ali i postizanje ciljeva i rokova definiranih nacionalnom legislativom i pregovorima o pristupu. Organizacija upravljanja sredstvima Europske unije u razdoblju nakon pristupa morati će biti sposobna upravljati značajno većim sredstvima i značajno većim brojem projekata nego je to bio slučaj do sada.

2. UPRAVLJANJE SREDSTVIMA EUROPSKE UNIJE U SEKTORU VODA

2.1. Upravljačka struktura operativnih programa ISPA-e

Nakon provedenog postupka akreditacije u veljači 2006. godine, Europska komisija je donijela Odluku o prijenosu ovlasti za decentralizirano upravljanje programom ISPA, te je time provedba ISPA projekata prepuštena hrvatskim tijelima, tj. Središnjoj jedinici za financiranje i ugovaranja kao Provedbenoj agenciji uz zadržavanje ex-ante (prethodne) kontrole postupka javne nabave.

Osobe/tijela nadležna za provedbu ISPA programa u Republici Hrvatskoj su:

- državni tajnik u Središnjem državnom uredu za razvojnu strategiju i koordinaciju EU fondova; Nacionalni ISPA koordinator;
- državni tajnik u Ministarstvu financija; Nacionalni dužnosnik za ovjeravanje;
- Nacionalni fond u sklopu Ministarstva financija;
- provedbeno tijelo; Središnja agencija za financiranje i ugovaranje;
- državni dužnosnik na čelu Središnje agencija za financiranje i ugovaranje, Sektorski dužnosnik za ovjeravanje programa i projekata;
- imenovani državni tajnici u ministarstvima zaduženima za pojedina sektorska pitanja; Sektorski koordinatori za program ISPA;
- Jedinice za provedbu projekata - krajnji korisnici, vodo-komunalne tvrtke.

2.2. Upravljačka struktura operativnih programa IPA-e

Sukladno članku 6. Okvirnog sporazuma, Odlukom Vlade Republike Hrvatske u Republici su Hrvatskoj imenovane sljedeće strukture i tijela, koji su zajednički svim komponentama IPA-e:

- ministar u Ministarstvu financija Dužnosnikom nadležnim za akreditaciju;

- državni tajnik u Ministarstvu financija Nacionalnim dužnosnikom za ovjeravanje - NDO;
- Nacionalni fond u sklopu Ministarstva financija;
- državni tajnik u Središnjem državnom uredu za razvojnu strategiju i koordinaciju EU fondova Nacionalnim koordinatorom programa IPA-e;
- Agencija za reviziju sustava provedbe programa Europske unije Tijelom za reviziju;
- operativna struktura za svaki operativni program IPA-e.

Operativnu strukturu IPA-e čini skup tijela u okviru državne uprave Republike Hrvatske koja je odgovorna za upravljanje i provedbu predmetnog operativnog programa IPA-e u skladu s načelima dobrog financijskog upravljanja.

Tijela koja čine Operativnu strukturu imaju tri razine zajedničkih nadležnosti kako je prikazano u tablici 1:

Razine nadležnosti	Nazivi tijela Operativne strukture
I. razina Operativnog programa	tijelo nadležno za Operativni Program
II. razina prioriteta/mjere	tijelo nadležno za prioritete/mjere
III. razina projekta	provedbeno tijelo

Tablica 1. Nadležnosti tijela Operativne strukture

Tijelo nadležno za Operativni Program odgovorno je za izradu i sveukupno upravljanje Operativnim Programom, utvrđivanje i odabir projekata, te praćenje i evaluaciju Operativnog Programa. Tijelo nadležno za Operativni Program također je odgovorno za dostavljanje primjerenih informacija NDO-u u vezi funkcioniranja sustava i postupaka koje provodi tijelo nadležno za prioritet/mjeru ili provedbeno tijelo, u cilju verificiranja isporuke sufinanciranih proizvoda i usluga, stvarnih potraživanih izdataka i pridržavanja primjenjivih pravila EU-a.

Unutar svog sektorskog područja **tijelo nadležno za prioritet/mjeru** odgovorno je za izradu svojih dijelova Operativnog Programa, utvrđivanje planiranih krajnjih korisnika, očekivanih modaliteta odabira i eventualnih povezanih specifičnih kriterija odabira, za podršku tijelu nadležnom za Operativni Program pri utvrđivanju i odabiru projekata, za osiguravanje da se operacije unutar njihovog sektorskog područja nadležnosti odabiru za financiranje i odobravaju u skladu s kriterijima primjenjivim na Operativni Program, za nadzor tehničke provedbe projekata i provedbu ex-ante provjera dokumenata koje je za provedbu natječaja za projekte i plaćanja izradilo provedbeno tijelo.

Provedbeno tijelo/agencija u IPA-i nadležno je za javno nadmetanje i ugovaranje, računovodstvo plaćanja i financijsko izvješćivanje u postupcima javnih nabava usluga, robe i radova i dodjele bespovratnih sredstava. Provedbeno tijelo/agencija također je nadležno za administrativnu verifikaciju i verifikaciju na terenu isporuke robe, usluga i radova. Provedbeno tijelo/agencija osigurava da tijelo nadležno za prioritet/mjeru dobije sve potrebne informacije o postupcima i verifikacijama koje su izvršene u vezi provedbe projekte i plaćanja.

PRIORITET	MJERA	OPERATIVNA STRUKTURA I. Resorno ministarstvo za Program: Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Uprava za Europsku uniju	
		II. Resorno ministarstvo nadležno za mjeru	III. Provedbeno tijelo/agencija
1. Razvoj infrastrukture za gospodarenje otpadom radi uspostave cjelovitog sustava gospodarenja otpadom u Hrvatskoj	1. Uspostava novih centara za gospodarenje otpadom na županijskoj/regionalnoj razini	Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Uprava za Europsku uniju	Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost
	2. Sanacija lokacija visoko onečišćenih otpadom (crne točke)	Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Uprava za Europsku uniju	Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost
2. Zaštita vodnih resursa Hrvatske kroz poboljšanje sustava vodoopskrbe te integriranog sustava upravljanja otpadnim vodama	1. Uspostava modernih vodoopskrbnih sustava i mreža	Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva Uprava vodne politike i međunarodnih projekata	Hrvatske vode
	2. Izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za otpadne vode iz domaćinstava i industrije i poboljšanje kanalizacijske mreže	Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva Uprava vodne politike i međunarodnih projekata	Hrvatske vode
3. Tehnička pomoć	1. Upravljanje Operativnim Programom i izgradnja sposobnosti	Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Uprava za Europsku uniju	Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU)

Tablica 2. Popis tijela akreditirane Operativne strukture Operativnog programa za okoliš u okviru IPA-e (na razini prioriteta/mjera):

2.3. Upravljačka struktura Operativnog programa za okoliš i energetiku u okviru strukturnih fondova

Za sve Operativne programe predviđene za korištenje strukturnih fondova, Vlada Republike Hrvatske imenovala je sljedeća tijela:

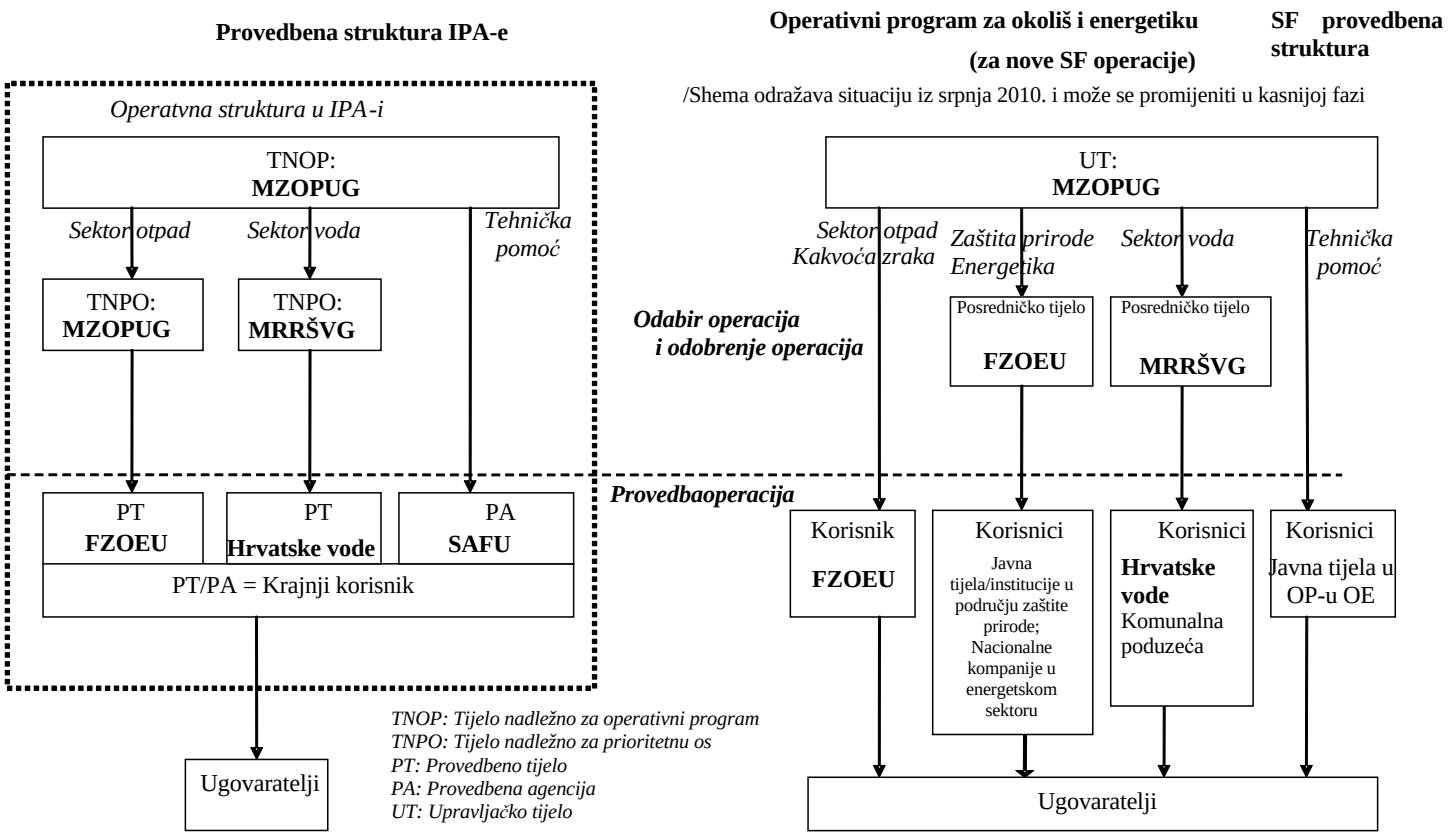
- Tijelo nadležno za koordinaciju Nacionalnog strateškog referentnog okvira koje predstavlja Središnji državni ured za razvojnu strategiju i koordinaciju fondova Europske unije (SDURF),
- Tijelo nadležno za ovjeravanje plaćanja koje predstavlja Ministarstvo financija - Nacionalni fond (NF),
- Tijelo za reviziju koje predstavlja Agencija za reviziju sustava provedbe programa Europske unije.

Za svaki pojedinačni Operativni program Vlada je imenovala upravljačko tijelo i posrednička tijela na koja upravljačko tijelo prenosi određene zadaće.

Operativni program za okoliš i energetiku		
Uloga	*Ustanova*	*Fond*
Upravljačko tijelo	Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva: - Uprava za upravljanje programima Europske unije	KF, EFRR
Posredničko tijelo:	**za sektore zaštite prirode i energetike:** Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost	EFRR
	za sektor vodnog gospodarstva: Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva: - Uprava vodne politike i međunarodnih projekata	KF

Tablica 3. Popis tijela uključenih u upravljačku strukturu Operativnog programa za okoliš i energetiku za korištenje sredstava Kohezijskog Fonda i Europskog Fonda za Regionalni Razvoj

Ujedno će se Zakonom o institucionalnom okviru i organizaciji provedbe na području upravljanja strukturnim fondovima odrediti odnosi između tijela, te uloge koje će tijela imati. Odredbe Zakona osigurat će postojanje snažnih upravljačkih tijela s ovlastima donošenja odluka na području upravljanja Programom, te odluka u pogledu posredničkih tijela i korisnika.



Slika 1. Shematski prikaz pretvorbe sadašnje operativne strukture OP-a IPA-e u novu strukturu za upravljanje OP-om financiranim iz strukturnih fondova i Kohezijskog fond

Provedbena tijela IPA-e, Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost i Hrvatske vode u prvom će programskom razdoblju nakon pristupa Europskoj uniji (2012. - 2013. godine) nastaviti obavljati zadaće za koje su akreditirana u sklopu IPA-e. Razlog tomu je prvenstveno nedostatak kapaciteta na lokalnoj/regionalnoj razini, te činjenica da ove dvije institucije imaju dostatan broj zaposlenika, kao i stručna znanja stečena u sklopu IPA-e i provedbe na nacionalnoj razini koja mogu osigurati učinkovitu provedbu projekata.

ZAKLJUČAK

Republika Hrvatska je 2006. godine pridobila akreditaciju za korištenje programa ISPA-e. Krajnji korisnici - vodno-komunalna poduzeća bila su uključena u ovaj sustav kroz svoje Jedinice za provedbu projekata. Iskustvo u sklopu ISPA-e pokazalo je da komunalna poduzeća nemaju dovoljno kapaciteta za pripremu i provedbu projekata prema europskim pravilima, ali da posjeduju stručna znanja u tehničkim aspektima. Središnja agencija za financiranje i ugovaranje upoznata je s europskim postupcima, financijskim upravljanjem i kontrolom.

Imajući na umu važne zaključke koji proizlaze iz ISPA-e, naime da bi prenošenje provedbe projekata na nižu razinu komunalnih poduzeća zbog njihova nedostatka kapaciteta i vremenskih ograničenja za njihovu izobrazbu u vezi europskih postupaka provedbe predstavljalo visok rizik u pogledu apsorpcijskih ciljeva IPA-e, Hrvatske vode su uvedene u Operativnu strukturu IPA-e, kako bi obavljale ulogu provedbenog tijela nadležnog za provedbu projekata IPA-e. Hrvatske vode su prepoznate kao institucija s relevantnim tehničkim kapacitetom i iskustvom u provedbi infrastrukturnih projekata financiranih iz nacionalnih izvora. Da bi se zaposlenici Hrvatskih voda upoznali s postupcima i provedbenim europskim pravilima, izrađeni su i provedeni planovi izobrazbe za zaposlenike kao i prijenos znanja i iskustava europskih postupaka, te financijskog upravljanja i kontrole. U sklopu IPA-e, Hrvatske vode provode projekte u ime i u suradnji s krajnjim primateljima, tj. vodno-komunalnim poduzećima. Nadzor nad provedbom pokazuje da Hrvatske vode uspješno obavljaju svoje zadaće.

Nakon pristupanja Europskoj uniji provedba operacija iz Operativnog programa za okoliš i energetiku slijedit će postupke nabave utvrđene nacionalnim Zakonom o javnoj nabavi koji bi s danom pristupa trebao biti usklađen s europskim direktivama o javnoj nabavi. Apsorpcijski kapacitet uvelike će ovisiti o kapacitetima korisnika operacija za pripremu projekata visoke kvalitete i dostupnosti kvalificiranih i obučenih zaposlenika koji su upoznati sa specifičnim nacionalnim zahtjevima i zahtjevima EU-a.

Za izradu OP-a za razdoblje 2012. - 2013. na području vodnoga gospodarstva izrađen je indikativni popis od 39 projekata vodnoga gospodarstva. Utvrđena su komunalna poduzeća kao mogući korisnici projekata s popisa. Procjena kapaciteta mogućih korisnika za izradu zrelih projektnih prijava i provedbu projekata izrađena od strane Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva pokazala je da velik dio mogućih korisnika ne posjeduje takve kapacitete.

Uzimajući u obzir iskustvo Hrvatskih voda u provedbi nacionalnih projekata ili projekata koje je financirala Svjetska banka, te njihovu uspješnost u sklopu IPA-e, donesena je odluka da će se uloga ključnog korisnika na području vodnog gospodarstva dodijeliti Hrvatskim vodama. U tom se pogledu njihova uloga u sklopu Operativnog programa za

okoliš i energetiku neće razlikovati od njihove uloge u sklopu IPA-e.

Vodeći računa o broju projekata koji se pripremaju i namjeravaju provoditi u prvom razdoblju nakon punopravnog članstva, jasno je da kapaciteti Hrvatskih voda neće biti dovoljni da se osigura povlačenje svih raspoloživih europskih sredstava. Također, Hrvatske vode neke od ovih poslova mogu obavljati u ime i za račun krajnjih korisnika, vodno-komunalnih tvrtki obzirom da Hrvatske vode nisu nacionalnom legislativom nadležne za gradnju, upravljanje vodno-komunalnom infrastrukturom. Temeljem postojećeg iskustva na pripremi i provedbi projekata jasno je da je priprema i provedba projekata bez krajnjih korisnika nemoguća, obzirom da je potrebno rješavanje niza pitanja koje Hrvatske vode nisu u mogućnosti rješavati umjesto njih. Kako je već prije opisano najveći dio projekata koji će se provoditi ima kao krajnjeg korisnika velike vodno-komunalne tvrtke koje imaju tehničke kapacitete za provođenje projekata i koje treba u potpunosti iskoristiti. U sljedećim godinama očekuje se provedba projekata na područjima ovih velikih vodno-komunalnih tvrtki koje bi uz odgovarajuće nacionalne procedure i stručan nadzor bile sposobne obavljati ove poslove u velikoj mjeri samostalno. Stalan nadzor i kontrola od strane Hrvatskih voda osigurala bi usklađenost s relevantnim europskim procedurama. Sudjelovanje vodno-komunalnih tvrtki i iskorištavanje njihovih stručno tehničkih kapaciteta u upravljačku strukturu za razdoblje 2012. - 2013., ključno je za jačanje upravljačkog sustava i za postizanje programskih ciljeva i rokova dogovorenih tijekom pristupnih pregovora i za iskorištavanje svih raspoloživih europskih sredstava.

KORIŠTENI IZVORI

[1] Direktiva o vodi za piće (Drinking Water Directive) 80/778/EEC, 91/858/EEC, 90/656/EEC and 91/692/EEC

[2] Direktiva o pročišćavanju otpadnih voda sustava javne odvodnje (Urban Waste Water Treatment Directive) 91/271/EEC, 98/15/EC

[3] Odluka Vlade Republike Hrvatske o strateškim dokumentima i institucionalnom okviru za korištenje strukturnih instrumenata Europske unije u Republici Hrvatskoj ("Narodne novine", br. 116/10)

[4] Uredba Vlade Republike Hrvatske o upravljanju programima CARDS, PHARE, ISPA i SAPARD ("Narodne novine", br. 18/07 i 32/08)

[5] Uredba Vlade Republike Hrvatske o opsegu i sadržaju odgovornosti te ovlastima tijela nadležnih za upravljanje Instrumentom Pretpristupne Pomoći ("Narodne novine", br. 18/07, 82/07, 34/08, 125/08, 6/09, 83/09 i 105/09)

AUTOR

Mojca Lukšić, dipl. ing. građ.

Hrvatske vode, Ulica gradaVukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, mluksic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.03.

AKTIVNOSTI KOMUNIKACIJE I VIDLJIVOSTI PREMA EU PROCEDURAMA U PROJEKTIMA SUFINANCIRANIM PUTEM IPA FONDA

Jelena Ambrenac

SAŽETAK: Proces pristupanja EU jedan je od prioritetnih ciljeva Vlade Republike Hrvatske. Kako bi Hrvatska što kvalitetnije i brže ispunila uvjete za ulazak u EU, otvoreni su joj pretpristupni fondovi, a da bi se isti mogli koristiti potrebno je pripremiti i realizirati projekt sukladno EU procedurama. No, jedan od bitnih zahtjeva EU je inzistiranje na vidljivosti rezultata projekata s ciljem da se, između ostalog, pokaže i kako se transparentno troši novac. U referatu su opisane obveze i način provedbe komunikacijske strategije na razini projekata, kao i vrste komunikacijskih alata za provedbu obveza informiranja javnosti i vidljivosti prema EU procedurama, a koji su do sada primjenjivani u projektima koji su u tijeku a sufinancirani su sredstvima EU.

KLJUČNE RIJEČI: komunikacijska strategija, IPA, operativni program zaštite okoliša, tijela operativne strukture, smjernice EU za komunikaciju i vidljivost, komunikacijski alati

COMMUNICATION AND VISIBILITY ACTIVITIES IN ACCORDANCE WITH EU PROCEDURES UNDER IPA CO-FUNDED PROJECTS

SUMMARY: The process of accession to the European Union is one of the priorities of the Croatian Government. In order for Croatia to meet the conditions for joining the EU as soon as possible, pre-accession funds have been made available to it. In order for these funds to be used, a project must be prepared and implemented following EU procedures. One of EU's essential requirements is insisting on the visibility of project results in order to show that funds have been used transparently. The paper describes the duties and method of implementing the communications strategy on the project level, as well as the types of communication tools available for the fulfilment of obligations of public information and visibility following EU procedures, which have so far been applied in on-going projects co-financed by the EU.

KEYWORDS: communications strategy, IPA, Environmental Operational Programme, Operating Structure bodies, EU Communication and Visibility Guidelines, communication tools

1. UVOD

Projekti sufinancirani od strane Europske unije (EU) ugovaraju se po posebnim procedurama koje propisuje EU. Izrada i provedba komunikacijske strategije kao i osiguranje mjera promidžbe / informiranja u praćenju realizacije projekata odobrenih u okviru Operativnog programa postavlja se kao imperativ u svim projektima sufinanciranih od strane EU.

Informiranje i promidžba važni su aspekti pretpristupne pomoći, a posebno uspješnog osmišljavanja i provedbe svih operativnih programa. Priopćavanje za uspješno upravljanje i provedbu operativnih programa može se podijeliti u niz aktivnosti informiranja i promidžbe.

Projekti koje djelomično ili u cijelosti financira Europska unija moraju uključivati informativne i komunikacijske aktivnosti osmišljene za podizanje svijesti specifične ili opće javnosti o razlozima za određeni projekt, te o potpori EU projektu u državi ili regiji u kojoj se izvodi, kao i o rezultatima i učinku ove podrške.

2. INSTRUMENT PRETPRISTUPNE POMOĆI (IPA) I OPERATIVNI PROGRAM ZA OKOLIŠ (OPZO)

Pretpristupni program „Instrument pretpristupne pomoći“ (IPA) uspostavljen je Uredbom Vijeća EU br. 1085/2006, i temelji se na decentraliziranom sustavu s ex-ante kontrolom Delegacije Europske komisije.

IPA je jedinstveni pretpristupni fond za razdoblje 2007. - 2013. godine, koji zamjenjuje program CARDS i pretpristupne programe PHARE, ISPA i SAPARD.

Program IPA sastoji se od 5 komponenti:

1. Pomoć u tranziciji i izgradnja institucija,
2. Prekogranična suradnja,
3. Regionalni razvoj,
4. Razvoj ljudskih potencijala i
5. Ruralni razvoj.

Ovih pet komponenti bit će provedeno kroz operativne programe koji su napravljeni na godišnjoj, odnosno višegodišnjoj razini za svaku komponentu zasebno.

Operativni Program Zaštite Okoliša (OPZO) predstavlja programski okvir za korištenje III b komponente programa IPA (Okoliš) na način da određuje prioritete i mjere koje će se sufinancirati u pojedinim sektorskim područjima - sektoru gospodarenja otpadom i sektoru gospodarenja vodama. OPZO je napravljen s ciljem da pripremi hrvatske institucije za pristup EU i kroz investiranje u niz projekata doprinese postizanju dva osnovna prioriteta:

a) razviti infrastrukturu za gospodarenje otpadom za uspostavu cjelovitog sustava gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj (Prioritetna os 1), i
b) zaštiti vodne resurse Republici Hrvatskoj kroz unaprijeđene sustave vodoopskrbe i cjelovitog gospodarenja otpadnim vodama (Prioritetna os 2)

Kako bi se sve aktivnosti unutar IPA programa, a koje su definirane Operativnim programom za okoliš, provodile kvalitetno i odgovorno, uspostavljena je Operativna struktura

koja će upravljati svim aktivnostima. Čelnik Operativne strukture u smislu članka 167 (3) IPA provedbene uredbe je državni tajnik u Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva. Operativna struktura sastoji se od tijela operativne strukture:

a) *Tijelo zaduženo za Operativni program* - Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG)
b) *Tijela zadužena za Prioritetne mjere* (unutar Prioritetnih osi) - Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG) i Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva (MRRŠVG)
c) *Provedbena tijela* - Hrvatske vode (HV), Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost (FZOEU) i Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU)

Da bi se dostupna IPA sredstva iskoristila na pravovremen i učinkovit način, *zrelost projekata bila je najvažniji kriterij* za prioritizaciju pomoći. Pored toga što trebaju biti u skladu s nacionalnim strateškim i planskim dokumentima, projekti trebaju odgovarati kriterijima prihvatljivosti.

Sukladno planskim i programskim dokumentima za pristupanje Hrvatske Europskoj uniji, a posebice Operativnom programu zaštite okoliša 2007. - 2011. godine započela je realizacija projekata **Slavonski Brod** i **Drniš**, a očekuje se početak realizacije projekta **Knin**, dok je za projekt **Sisak** prijava projekta poslana Europskoj komisiji i čeka se odobrenje.

Na projektu *„Sustav vodoopskrbe i odvodnje otpadnih voda s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda grada Slavonskog Broda"* planira se izgraditi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda za 80.000 ES trećeg stupnja pročišćavanja, izgraditi vodospremu 2.100 m^3, vodoopskrbnu mrežu u duljini od 9 km, te mrežu javne odvodnje u duljini od 37 km s 8 preljevnih objekata i 7 crpnih stanica.

Na projektu *„Razvoj sustava vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda na području grada Knina"* planira se izgraditi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda za 20.000 ES trećeg stupnja pročišćavanja, rekonstruirati vodoopskrbna mreža i mreža javne odvodnje u ukupnoj duljini od 46 km, te instalirati 1.700 vodomjera.

Na projektu *„Unaprjeđenje sustava vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda na području grada Drniša"* planira se izgraditi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda za 5.000 ES trećeg stupnja pročišćavanja, rekonstruirati vodoopskrbna mreža i mreža javne odvodnje u ukupnoj duljini od 12,5 km, te instalirati 640 vodomjera.

Na projektu *„Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda grada Siska"* planira se izgraditi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda za 60.000 ES trećeg stupnja pročišćavanja, te izgraditi sustav odvodnje.

3. KOMUNIKACIJSKA STRATEGIJA

Informiranje, promidžba i vidljivost podrazumijevaju niz aktivnosti koje se provode trajno kako bi se podigla svijest i spoznaja, kako o IPA pomoći općenito, tako i o specifičnim pojedinostima projekata unutar svakog operativnog programa. Informiranje i promidžba važni su aspekti pretpristupne pomoći, a posebno uspješnog osmišljavanja i provedbe svih operativnih programa. Priopćavanje za uspješno upravljanje i provedbu operativnih programa može se podijeliti u niz aktivnosti informiranja i promidžbe.

S tim ciljem, članci 62 i 63 IPA provedbene uredbe utvrđuju određene uvjete vezane za

informacije koje treba pružiti, te promicanje programa i aktivnostima financiranih od strane Europske unije, upućene građanima i korisnicima s ciljem isticanja uloge financiranja od strane Europske unije, te osiguranja transparentnosti.

U cilju što kvalitetnije koordinacije osoba zaduženih za proces informiranja javnosti o pretpristupnim fondovima, tijela državne i javne uprave uključena u proces korištenja EU fondova obvezni su imenovati osobu zaduženu za informiranje i promidžbu programa i projekata financiranih iz fondova EU (engl. publicity officer-PO), čiji rad koordinira SDURF.

Komunikacijska strategija, odnosi se na aktivnosti koje promoviraju pomoć Europske unije Republici Hrvatskoj kroz Instrument za pretpristupnu pomoć (eng. Instrument for Pre-Accession Assistance IPA). Komunikacijska strategija (koja daje odgovore na pitanja „zašto i što") namijenjena je uspostavljanju okvira za Akcijske planove za provedbu Komunikacijske strategije (koji će odgovoriti na pitanja „kako, tko, kada i gdje") na razini pojedinih programa u okviru pojedinih komponenti programa IPA. Strategija i planovi pratit će Smjernice EU za vanjske aktivnosti EU (EU Visibility Guidelines).

Komunikacijsku strategiju u Republici Hrvatskoj potrebno je provoditi na tri razine:

1. *Informiranje i promidžba IPA* pretpristupne pomoći u cijelosti - za sve komponente
2. *Informiranje i promidžba svakog Operativnog programa*
3. *Transparentnost svakog pojedinog projekta* unutar Operativnog programa

Odgovornost za provođenje mjera informiranja i promidžbe na razini Operativnog programa je na Operativnoj strukturi, odnosno na ministarstvu koje ima ulogu upravljanja operativnim programom. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva - MZOPUG (Uprava za strateške i integracijske procese u zaštiti okoliša) bit će nadležno za aktivnosti informiranja i promidžbe u okviru Operativnog programa za okoliš, te će usko surađivati s Ministarstvom regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva - MRRŠVG. Informacije će biti upućene građanima Hrvatske i građanima Europe općenito, te (potencijalnim) korisnicima. Cilj će im biti istaknuti ulogu EU i osiguranje transparentnosti IPA pomoći.

U skladu sa člankom 63. IPA provedbene uredbe, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (Uprava za strateške i integracijske procese u zaštiti okoliša) u suradnji s Ministarstvom poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva pripremit će *Komunikacijski akcijski plan (CAP)*, te će osigurati stratešku usklađenost grupe aktivnosti za objavljivanje informacija o IPA pomoći.

Komunikacijski akcijski plan bit će usklađen sa strategijom informiranja i promidžbe koju izdaje Nacionalni IPA Koordinator (NIPAK). Komunikacijski akcijski plan odnosit će se na razdoblje 2008. - 2012.

U skladu s tim, informacije koje treba pružiti Operativna struktura između ostalog uključuju objavljivanje popisa krajnjih korisnika, naziva aktivnosti i iznosa sredstava koji je EU dodijelila za aktivnosti. Europska komisija također mora osigurati objavljivanje relevantnih informacija o natječajima i ugovorima u Službenom listu Europske unije i ostalim prikladnim medijima i web stranicama.

Provedbena tijela su odgovorna za ispunjavanje ciljeva zadanih u dokumentu "Komu-

nikacija i vidljivost - Priručnik za vanjske aktivnosti EU" (EU Visibility Guidelines) za svaki projekt zasebno.

4. SMJERNICE I ZAHTJEVI EU ZA KOMUNIKACIJU I VIDLJIVOST

Smjernice EU za vanjske aktivnosti EU /komunikaciju i vidljivost/ izradila je Europska komisija kako bi svi projekti koji su djelomično ili u cijelosti financirani i/ili podržani od strane EU bili na odgovarajući način prezentirani i kao takvi prepoznati u javnosti.

Priručnik za vanjske aktivnosti definira zahtjeve i smjernice u svezi pisanog materijala, tiskovnih konferencija, prezentacija, pozivnica, znakovlja, spomen ploča i svih ostalih komunikacijskih alata korištenih u svrhu isticanja sudjelovanja EU. Priručnik uglavnom pokriva pisani i vizualni identitet EU. Osim toga, nudi alate osmišljene za omogućavanje razvoja dinamične komunikacijske strategije koja će istaknuti rezultate potpore EU.

Ovaj priručnik sadrži i obvezne zahtjeve postavljene svim izvođačima i partnerima u provedbi[1] u sklopu ugovora i sporazuma o financiranju, koji se odnose isključivo na njih, bilo da ih je potpisala Europska komisija ili koje drugo ugovaračko tijelo.

Smjernice EU, stoga nužno moraju koristiti sva Provedbena tijela unutar Operativne strukture, kao i krajnji korisnici (potpisnici ugovora), kako bi ispunili sve zahtjeve EU za promicanjem odabranih projekata, te kako bi svojim projektima dali odgovarajući publicitet.

5. KOMUNIKACIJSKI ALATI

Kako bi se postigli glavni ciljevi komunikacijske strategije potrebno je, dakle, kroz komunikacijske akcijske planove definirati sve mjere i aktivnosti koje će doprinijeti postizanju specifičnih ciljeva. Izvođači, partneri u provedbi i međunarodne organizacije odgovorni su za davanje odgovarajućeg publiciteta projektima koje provode, kao i EU potpori koju primaju. U tom smislu, jedna od zadaća je osigurati adekvatnu promidžbu europskih fondova i projekata koji se provode u Hrvatskoj. To se, između ostalog postiže i izdavanjem publikacija i letaka koji upoznaju širu javnost, kako sa procesom korištenja EU sredstava, tako i sa načinima kako što kvalitetnije prezentirati javnosti rezultate projekata.

Elementi plana za komunikaciju i vidljivost mogu uključivati: p*riopćenja za tisak; konferencije za tisak; posjete novinara; letke; brošure i biltene (newslettere); Web stranice; panoe; spomen ploče; okomite zastave (banneri); vozila, materijale i opremu; promotivne predmete; fotografije; audiovizualne produkcije; javne priredbe i posjete; informativne kampanje.*

Različite aktivnosti mogu biti prikladne u različitim fazama projektnog ciklusa.

Komunikacija bi se trebala odvijati tijekom svih faza projektnog ciklusa, i treba biti pravodobna. Aktivnosti komunikacije i vidljivosti trebaju se koristiti za najavu, a onda i istovremeno s ključnim prekretnicama.

[1] U svrhu ovog priručnika, "partnerima u provedbi" smatraju se agencije ili javna tijela država korisnica financijske potpore EU, korisnici bespovratnih sredstava, jedinice koje upravljaju projektima i svi drugi entiteti koji izvode aktivnost djelomično ili u potpunosti financiranI od strane EU

6. AKTIVNOSTI KOMUNIKACIJE I VIDLJIVOSTI U PROJEKTIMA IZ PODRUČJA VODA

Hrvatske vode su akreditirane kao Provedbeno tijelo unutar Operativne strukture za provedbu Operativnog programa za okoliš, imaju obvezu provedbe i ispunjenja mjera informiranja i promidžbe na razini svakog pojedinačnog projekta, objavljivanja svih informacija o pojedinačnom projektu u skladu s PRAG vodičem za ugovaranje, te sve druge aktivnosti vezane uz informiranje i promidžbu.

Na temelju toga, Hrvatske vode su već poduzele niz aktivnosti na provedbi ovih obveza i aktivnosti i to kroz faze pripreme projekata čija je realizacija započela (Slavonski Brod i Drniš), te za projekt za koji se uskoro očekuje početak realizacije (Knin), kao i za projekt za koji se čeka odobrenje od strane EK uskoro očekuje (Sisak).

Do sada je već proveden niz aktivnosti kako bi se osigurala odgovarajuća promidžba europskih fondova (IPA) upravo kroz ove projekte, a njihova se provedba i dalje nastavlja.

Provedene aktivnosti odnose se na:

a) ***Opća vizualizacija projekta -*** izrađena je opća jedinstvena vizualizacija za sve projekte, koja će biti prepoznatljiva na svim izlaznim dokumentima vezanim uz neki od „vodenih“ projekata, ali će se razlikovati prema boji, za svaki projekt zasebno.

b) ***pokretanje HV EU IPA web stranice*** - izrađena i dizajnirana web stranica koja se nalazi unutar postojeće web stranice Hrvatskih voda na kojoj su dostupne sve informacije o projektima, o njegovim koristima za pojedince i zajednicu, objave nadmetanja i slično. Stranica je napravljena tako da je omogućeno jednostavno i brzo administriranje sadržaja, bez interakcije računalnih programera ili administratora web-hostinga.

c) ***Istraživanja javnog mnijenja*** - na početku projekta (za svaki projekt zasebno nakon potpisivanja BPA-Bilateral Project Agreement-a) organizirana je javna kampanja (istraživanje javnog mnijenja) kako bi se dobio uvid u postojeće stanje prepoznatljivosti projekata u općoj javnosti. Ista je istraživanja potrebno provoditi i nakon polugodišnje provedbe komunikacijskog plana za svaki projekt, kao i po završetku projekta jer će se rezultati istraživanja koristiti kao indikatori provedbe mjera javnosti i vidljivosti u okviru provedbe IPA projekata. Do sada su napravljena istraživanja za projekte Slavonski Brod, Drniš i Knin, a isto će se istraživanje provesti i za Sisak.

d) ***izrada brošura i drugih promotivnih materijala*** - izrađene brošure i drugi promotivni materijali s osnovnim podacima o IPA-i, OPZO-u i projektom u kojima će biti navedeni i ciljevi projekta, očekivane koristi od projekta, navedeni korisnici projekta i slično, te njihovo postavljanje i na web portal projekta i drugih institucija prema dogovoru. Ovakva je brošura izrađena za projekt Slavonski Brod, te je distribuirana preko krajnjeg korisnika projekta (komunalno poduzeće) svim potrošačima zajedno uz račune vezane uz potrošnju vode. Brošure za projekte Drniš i Knin su pripremljene, dok je za Sisak priprema u tijeku.

e) ***izrada medijskih analiza*** - provođenje je predviđeno prema potrebi (mjesečno, kvartalno, polugodišnje, godišnje) za tri projekta (Slavonski Brod, Drniš i Knin) čime je omogućen uvid u praćenje dnevnih medijskih objava (web clipping), te se to u elektronskom formatu dostavlja svim osobama koje su određene u skladu s potrebama projekta.

f) ***medijski treninzi*** - organizirani su medijski treninzi za eksperte, korisnike projekta na lokalnoj i regionalnoj razini (komunalna poduzeća, jedinice lokalne uprave i drugi), a isti će se prema potrebi i dalje organizirati.

g) ***organiziranje tiskovnih konferencija i drugih događaja prema potrebi projekta*** - organizirane su konferencije nakon potpisivanja ugovora kao i prigodom obilježavanja nekih drugih značajnih događanja na samom projektu, pripremale su se prezentacije, odgovori za novinare, pripremljeni su istupi ključnih osoba projekta u javnosti, izrađeno je niz priopćenja i objava za medije, te je osigurana njihova distribucija, izrađena je lista medija i novinara (adrema) prema ciljnim grupama i zahtjevima projekata i drugo. Sve ove aktivnosti nastaviti će se i tijekom provedbe projekata, a ovisno o potrebama projekata.

h) ***panoi*** - projekti vezani uz infrastrukturu koje financira EU moraju biti jasno identificirani kao takvi pomoću panoa koji opisuju projekt. Panoi moraju biti jasno vidljivi kako bi oni koji pored njih prolaze mogli pročitati i razumijeti narav projekta. Panoi se trebaju postaviti uz prilazne pravce mjestu gdje se projekt odvija, te na mjestu samog izvođenja radova (primjerice uređaj za pročišćavanje otpadnih voda), te tu moraju ostati od početka projekta do šest mjeseci po završetku projekta. Ovakvi su panoi izrađeni i postavljeni u Drnišu i Slavonskom Brodu, a takvi će se izraditi i postaviti i za projekt Knin.

ZAKLJUČAK

Izvođači, partneri u provedbi i međunarodne organizacije odgovorni su za davanje odgovarajućeg publiciteta projektima koje provode, kao i EU potpori koju primaju. Različite aktivnosti mogu biti prikladne u različitim fazama projektnog ciklusa. U svakom slučaju, komunikacijske bi se aktivnosti trebale usredotočiti na postignuća i učinak aktivnosti, a ne na proceduralne i administrativne prekretnice. Potpisivanje dokumenta, čak i ako se on odnosi na velike svote novca, neće nužno privući veliku pažnju medija, naročito unutar EU.

Zahtjevi za informacijama rastu iz dana u dan, upravo odmicanjem samog procesa proširenja EU. Stoga je nužno potrebno slijediti ciljeve nove komunikacijske strategije. Važnu ulogu u cijelom procesu komunikacije odigrati će Europska komisija, koja mora redovito i pravovremeno proslijeđivati sve potrebne informacije u zemlje članice i zemlje kandidate. Hrvatska, kao zemlja kandidatkinja, mora blisko surađivati s predstavnicima Europske komisije u Zagrebu i pravovremeno sve dobivene informacije proslijeđivati u javnost, kako stručnu, profesionalnu, tako i opću javnost.

LITERATURA

[1] Nacionalni program Republike Hrvatske za pristupanje Europskoj uniji, MVPEI, svibanj 2008.

[2] Komunikacijska strategija za informiranje Hrvatske javnosti o Europskoj uniji i pripremama za članstvo, Hrvatski sabor, ("Narodne novine", br. 13/06)

[3] Operativni program za okoliš 2007. - 2009., Republika Hrvatska, rujan 2007.

[4] IPA provedbena uredba, COMMISSION REGULATION (EC) No 718/2007, of 12 June 2007.

[5] IPA komunikacijska strategija - Središnji državni ured za razvojnu strategiju i koordinaciju fondova Europske unije, listopad 2010.

[6] EU Visibility Guidelines (Smjernice EU za vidljivost - promidžbu), European Commission, srpanj 2009.

[7] White paper on a European communication Policy, European Commission, February 2006.

[8] A Progress Report on the Communication Strategy for Enlargement, European Commission, DG Enlargement Unit, March 2002.

[9] Communication Strategy for Enlargement, European Commission, May 2000.

AUTOR

Jelena Ambrenac, dipl.ing.građ., Hrvatske vode, Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.04.

IPA „VELIKI“ INFRASTRUKTURNI PROJEKT SLAVONSKI BROD

Lidija Šljivarić, Robert Kartelo

SAŽETAK: U radu je dan pregled pripreme, prijave i provedbe IPA „velikog“ infrastrukturnog projekta “Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda”. Na konkretnom primjeru opisani su postupci i procesi potrebni za pripremu i prijavu velikih infrastrukturnih projekata iz vodnog gospodarstva za sufinanciranje putem IPA fonda. Također je opisan obuhvat projekta, priprema projektne dokumentacije, postupak provedbe natječaja sukladno PRAG procedurama, uloga Delegacije Europske unije u Republici Hrvatskoj u pripremi i provedbi projekta, te organizacija sustava provedbe projekta. Iskustva i znanja koja su Hrvatske vode stekle na EU financiranim projektima dragocjena su za pripremu budućih projekata iz područja vodnog gospodarstva, koji će se prijavljivati za Kohezijski fond Europske unije.

KLJUČNE RIJEČI: IPA, Projekt Slavonski Brod, infrastruktura, Operativni program zaštite okoliša 2007. - 2009., priprema, aplikacija, PRAG, FIDIC, provedba

MAJOR IPA INFRASTRUCTURE PROJECT SLAVONSKI BROD

SUMMARY: This paper reviews preparation, application and implementation of the major IPA infrastructure project “Water Supply and Sewerage System with Waste Water Treatment Plant in Slavonski Brod“. On this particular example, procedures and processes required for preparation and application of major water management infrastructure projects for co-financing by the IPA fund are described. There also follows a description of the project scope, preparation of the project documentation, process of implementation of the competition in accordance with PRAG procedures, role of the EU Delegation in the Republic of Croatia in preparation and implementation of the project as well as organization of the project implementation system. Experience and knowledge that Hrvatske vode acquired in the EU funded projects are very valuable for preparation of the future projects in the field of water management, which will be applied to the European Union Cohesion Fund.

KEY WORDS: IPA, Slavonski Brod Project, infrastructure, Environmental protection operational programme 2007. -2009., preparation, application, PRAG, FIDIC, implementation

1. UVOD

Priprema IPA projekta "Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda" za sufinanciranje putem IPA pretpristupnog fonda predstavljala je vrlo složen zadatak koji se temeljio na nizu predradnji i dokumenata.

Najznačajniji dokumenti koji su prethodili prijavi projekta su: Okvirni sporazum između Europske komisije i Vlade Republike Hrvatske u svezi sudjelovanja Republike Hrvatske u programima pomoći Europske zajednice, Operativni program zaštite okoliša 2007. - 2009., Sporazum o financiranju provedbe Operativnog Programa zaštite okoliša 2007. - 2009., Uredba Vlade Republike Hrvatske o opsegu i sadržaju odgovornosti, te ovlastima tijela nadležnih za upravljanje Instrumentom pretpristupne pomoći (IPA).

U sklopu IPA III b komponente Regionalni razvoj - zaštita okoliša izrađen je Operativni program zaštite okoliša za trogodišnje programsko razdoblje 2007. - 2009. Na temelju provedene analize stanja u sektoru upravljanja vodama prepoznate su prioritetne aktivnosti za usmjeravanje sredstava iz programa IPA. Navedene su aktivnosti odabrane s obzirom na potrebu usklađivanja sustava upravljanja vodama u Republici Hrvatskoj sa standardima Europske unije, a što zahtijeva iznimno visoka financijska ulaganja. Operativni program zaštite okoliša 2007. - 2009. usvojen je Odlukom Europske Komisije od 29. studenog 2007., te predstavlja programsku osnovu za korištenje sredstava u sektoru zaštite okoliša, odnosno u sektoru upravljanja vodama. Operativni program sadrži indikativan popis projekata ravnomjerno raspoređenih po čitavom teritoriju Republike Hrvatske. Financiraju se projekti koji su spremni za provedbu i sadrže svu potrebnu dokumentaciju. Na prioritetnoj listi projekata nalazi se i projekt "Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda".

Upravljanje i provedba Operativnog programa u nadležnosti je Operativne strukture kojoj je na čelu Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, a koje u sektoru upravljanja vodama usko surađuje s Ministarstvom regionalnog razvitka, šumarstva i vodnoga gospodarstva. Za provedbu projekata zadužene su Hrvatske vode, koje su za tu svrhu osnovale posebnu ustrojbenu jedinicu, Jedinicu za pripremu i provedbu projekata sufinanciranih sredstvima EU.

2. PRIPREMA I PRIJAVA PROJEKTA

2.1. Priprema projekta do prijave za su/financiranje

Radna skupina Programa za Dunav i Crno more (DABLAS - Danube and Black Sea) označila je projekt Slavonski Brod prioritetnim i prezentirala ga je kroz Program prioritetnih investicija u zaštiti okoliša u jugoistočnoj Europi (Priority Environmetal Investment Program for South Eastern Europe PEIP/SEE) u lipnju 2005. godine. Uz financijsku pomoć Skupine za potporu investicijama u slivu Dunava (Danube Investment Support Facility DISF), te Europske Investicijske Banke (EIB), u prosincu 2005. godine započelo se s izradom Studije izvodljivosti, koja je definirala projekt, te promjene u poslovanju i institucionalnom ustroju Vodovoda d.o.o., neophodne da bi se osigurala sredstva donacije putem institucija Europske unije. Studija izvodljivosti završena je u prosincu 2006. godine i usvojena je od strane grada Slavonskog Broda.

Tijekom 2007. godine u Hrvatskim vodama je osnovana Radna skupina za pripremu i

provedbu projekata sufinanciranih sredstvima EU, čija je uloga zamišljena kao aktivna pomoć jedinicama lokalne samouprave i komunalnim poduzećima u kvalitetnoj pripremi projekata s indikativne liste Operativog programa za zaštitu okoliša 2007. - 2009., te osposobljavanje kadra i priprema za akreditaciju Hrvatskih voda kao provedbenog tijela IPA III B komponente. U 2008. godini u Hrvatskim vodama je osnovana Jedinica za pripremu i provedbu projekata sufinanciranih sredstvima EU koja je prošla zahtjevne procese akreditacije od strane Europske komisije kako bi Hrvatske vode postale provedbeno tijelo IPA III B komponente.

Predocjenjivačka misija Delegacije Europske komisije boravila je u Slavonskom Brodu u ožujku 2007., kada je najavljena prijava projekta.

Temeljni dokument za potrebu izrade aplikacije bila je studija izvodljivosti. Obzirom da je ona izrađena 2006. godine i da su u međuvremenu već izgrađeni neki objekti koji su bili predloženi u kratkoročnoj investiciji, određene informacije su se morale novelirati kako bi bile sukladne informacijama, koje će se prezentirati u aplikaciji. Opseg napravljene studije izvodljivosti nije zadovoljavao uvjete i kriterije potrebne za prijavu projekta za IPA sufinanciranje, što se posebno odnosi na analizu dobiti i koristi, koja mora biti napravljena sukladno uvjetima propisanim u obrascima prijave projekta prema uredbama EU, te je stoga napravljena novelacija studije, a posebice njenih sljedećih elemenata: ukupni iznos investicije, podjela na prihvatljive i neprihvatljive troškove, izvori financiranja, financijski plan i plan nabave, kao i ostali podaci dobiveni iz analize troškova. U svezi s navedenim izrađena je dodatna analiza troškova i koristi za projekt sukladno kriterijima i uvjetima za prijavu projekta za sufinanciranje EU putem IPA pretpristupnog programa, kako bi projekt mogao biti prihvaćen za IPA sufinciranje. Pri izradi se provjeravala sva izrađena dokumentacija potrebna za prijavu projekta: studija izvodljivosti, studija utjecaja na okoliš, te postojeća projektna dokumentacija koja je u danom momentu djelomično bila u fazi izrade (projektirali su se glavni projekti za vodoopskrbni i kanalizacijski sustav, kao i idejni projekt uređaja za pročišćavanje otpadnih voda). Provjeravala se i njihova međusobna usklađenost (sustav vodoopskrbe i odvodnje je podijeljen na 19 glavnih projekata, a projektirale su ga 4 projektantske tvrtke) i konzistentnost, kako bi sve prezentirane informacije u dokumentima bile u međusobnoj vezi i jednoznačne.

2.2. Postupak prijave i prihvaćanja projekta za sufinanciranje

Na temelju provedenih analiza izrađena je aplikacija za prijavu projekta na propisanom prijavnom obrascu, koja je nakon dovršenog procesa nacionalnog prihvaćanja (Vodovod d.o.o., Slavonski Brod, grad Slavonski Brod, Hrvatske vode i Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva), u koordinaciji Središnjeg državnog ureda za razvojnu strategiju i koordinaciju fondova Europske unije (SDURF) poslana Europskoj komisiji na prihvaćanje.

Europska komisija je angažirala konzultantsku tvrtku da ocijeni spremnost projekta za sufinanciranje, a koja je po pregledu aplikacije poslala popis pitanja i komentara, kao i preliminarno izvješće o ocjeni aplikacije.

Na temelju ocjene angažirane konzultantske tvrtke naglašena je potreba za promjenom pristupa pripremi i izradi projekata u odnosu na dosadašnju praksu, jer je stavljen naglasak na buduće koristi, svrhovitost projekta, usklađenost projekta s direktivama Europske

unije, a tek potom na konkretna tehnička rješenja. U rujnu 2008. godine, u Slavonskom Brodu je organizirana Ocjeniteljska misija Europske komisije. Predstavnici Jedinice za pripremu i provedbu projekata su/financiranih sredstvima EU iz Hrvatskih voda su u suradnji s predstavnicima Vodovoda d.o.o. iz Slavonskog Broda odgovarali na pitanja predstavnika Europske komisije i angažirane konzultantske tvrtke, nakon čega je organiziran i obilazak predviđenih lokacija projekta.

U studenom 2008. godine korigirana aplikacija je poslana Europskoj komsiji na odobrenje.

Europska komisija je odobrila „veliki" projekt „Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda" svojom Odlukom broj C (2009) 2242 od 6. travnja 2009. godine, a Vlada Republike Hrvatske je 26. lipnja 2009. godine donijela Odluku o pokretanju postupka za sklapanje dvostranog sporazuma o projektu između Vlade Republike Hrvatske i Komisije europskih zajednica vezano uz sufinanciranje „velikog" projekta „Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda". Dvostrani sporazum o projektu između Vlade Republike Hrvatske i Europske komisije, potpisan je od strane Europske komisije 23. travnja 2009. godine, a od strane Vlade Republike Hrvatske 29. lipnja 2009. godine, te je stupio na snagu objavom u Narodnim novinama MU 7/09.

2.3. Postojeće stanje vodoopskrbe i odvodnje na području obuhvata i svrha projekta

Grad Slavonski Brod sedmi je grad po veličini u Republici Hrvatskoj s površinom od 54.45 km^2 i s više od 60.000 stanovnika. Zajedno sa stanovnicima okolnih naselja, broj stanovnika seže iznad 100.000.

Sustavom vodoopskrbe i odvodnje upravlja komunalno poduzeće Vodovod d.o.o., Slavonski Brod, društvo s ograničenom odgovornošću u vlasništvu Grada (81.5%) i okolnih općina (Oriovac, Bebrina, Sibinj, Podcrkavlje, Brodski Stupnik, Gornja Vrba, Klakar, Donji Andrijevci, Bukovlje i Vrpolje - 18,5%).

Sustav javne vodoopskrbe čini više od 546 km cjevovoda s gotovo 22.000 priključaka, dok sustav javne odvodnje raspolaže sa samo 145 km mreže i pokriva uglavnom gradsko područje. Iz navedenog slijedi da je oko 98% kućanstava u gradu priključeno na vodoopskrbnu mrežu, a oko 75% na sustav javne odvodnje. Iako se ovi podaci na prvi pogled čine zadovoljavajućim, analiza napravljena pri izradi studije izvodljivosti pokazala je da je postojeća vodnokomunalna infrastruktura u nezadovoljavajućem stanju. Gubici u vodoopskrbnoj mreži iznose preko 45%, sustav odvodnje karakterizira velika količina strane (infiltrirane) vode, a prikupljene otpadne vode ispuštaju se direktno u rijeku Savu bez prethodnog pročišćavanja.

S obzirom na navedene činjenice, predloženim projektom planira se:

- unaprijediti vodoopskrbni sustav kroz poboljšanje kakvoće vode i povećanje priključenosti stanovništva na sustav javne vodoopskrbe,
- izgraditi/nadograditi kanalizacijsku mrežu i povećati razinu priključenosti stanovništva na sustave javne odvodnje,
- poboljšati životne uvjete i smanjiti onečišćenje vodotoka,

- uskladiti upravljanje vodama na projektnom području sa zahtjevima Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda.

Kroz projekt se planira izgraditi i rekonstruirati dijelove sustava vodoopskrbe i odvodnje, te izgraditi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, čime će se značajno unaprijediti upravljanje vodama na području grada Slavonskog Broda i obližnjih naselja.

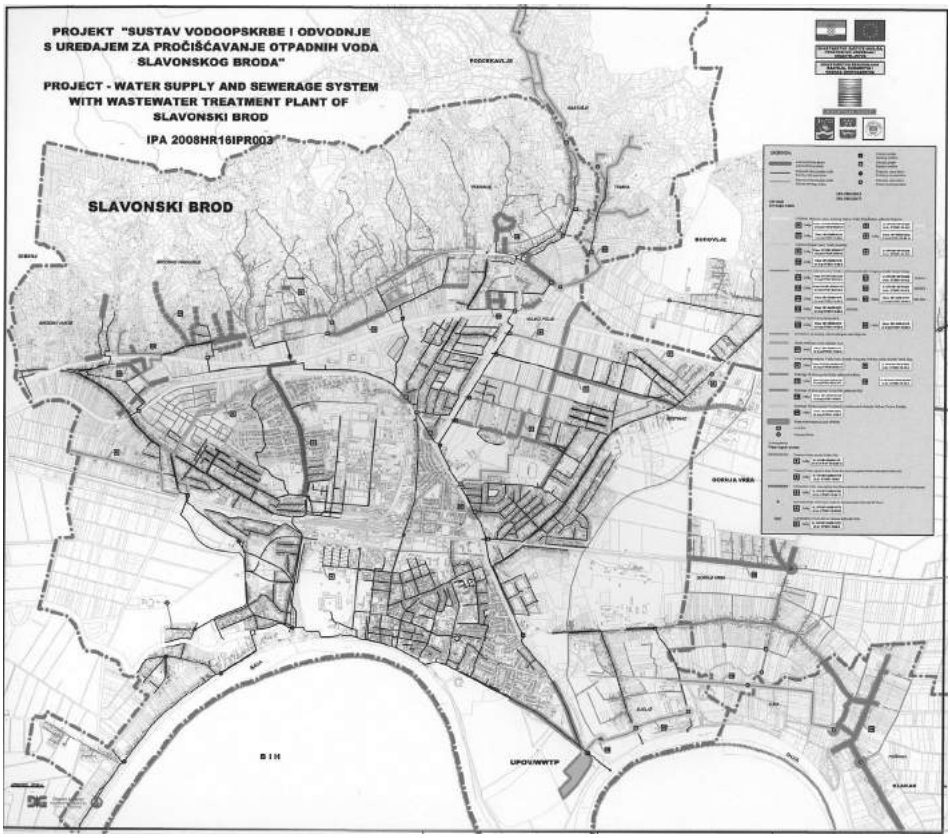
2.4. Vrijednost i obuhvat projekta

Ukupna procijenjena vrijednost prihvaćenog IPA projekta je oko 29,65 milijuna eura. Projekt se sufinancira sredstvima EU s 58%, sredstvima Državnog proračuna s 36%, te sredstvima proračuna grada Slavonskog Broda sa 6%. Prostorni obuhvat projekta prikazan je na Slici 1.

Za radove na sustavu javne vodoopskrbe koji uključuju izgradnju 7,2 kilometara magistralnih cjevovoda, zamjenu 1,8 kilometara postojećih glavnih cjevovoda, obnovu 50 glavnih čvorišta na sustavu za smanjenje gubitaka na mreži i izgradnju vodospreme u Brodskom Brdu izrađeno je 5 glavnih projekata i ishođeno je 5 potvrda glavnog projekta. Radovi na sustavu javne odvodnje uključuju izgradnju oko 36 kilometara novih kolektora, 8 crpnih stanica, 7 kišnih preljeva, te obnovu 700 metara postojećih kolektora, a za njih je izrađeno 14 glavnih projekata i ishođeno je 14 potvrda glavnog projekta. Za radove na izgradnji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za 80.000 ES (3. stupanj pročišćavanja) izrađen je idejni projekt i ishođena je lokacijska dozvola. Projektom je također obuhvaćena i nabava opreme za održavanje kanalizacijskog sustava, te nadzor nad gradnjom.

Provedba projekta obavlja se kroz 4 ugovora:

1. radovi projektiranja i izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (FIDIC žuta knjiga / yellow book),
2. radovi izgradnje vodoopskrbnog sustava i sustava odvodnje (FIDIC crvena knjiga / red book),
3. isporuka opreme (PRAG supply),
4. nabava usluge nadzora nad izvođenjem radova - FIDIC Engineer (PRAG services).



Slika 1: Obuhvat IPA projekta Slavonski Brod

2.5. Izrada dokumentacije za nadmetanje i provedba natječajnih postupaka

Cjelokupni natječajni postupak, koji se sastoji od pripreme dokumenata za nadmetanje, objave natječaja, organiziranja posjeta lokacijama gradnje i informativnog sastanka, pojašnjenja dokumenata za nadmetanje, formiranja ocjenjivačkog povjerenstva, ocjenjivanja ponuda, pojašnjenja ponuda, priprema izvješća ocjenjivačkog povjerenstva, pripreme ugovora i dodjele ugovora, provodi se prema PRAG procedurama i u svim je svojim segmentima podložan strogoj kontroli Delegacije Europske unije u Republici Hrvatskoj.

Natječajnu dokumentaciju su pripremile Hrvatske vode u suradnji s Vodovodom, d.o.o. iz Slavonskog Broda po propisanim *PRAG „Practical Guide to contract procedures for EC external actions"* procedurama i predlošcima. Nakon pripreme i dodatne kontrole u Hrvatskim vodama, dokumentacija je slana na detaljnu kontrolu i odobrenje Delegaciji Europske unije u Republici Hrvatskoj. Po dobivenom odobrenju Delegacije natječaji su istovremeno objavljivani u službenom glasniku Europske unije, na mrežnoj stranici EuropeAid i na mrežnoj stranici Hrvatskih voda.

Za ugovore o radovima, ugovorni dokumenti su pripremljeni po FIDIC ugovornim

predlošcima i pravilima. Ugovor za izgradnju sustava vodoopskrbe i odvodnje pripremljen je po „crvenoj“ knjizi što znači da se ugovara izgradnja sustava na temelju glavnih projekata i ishođenih građevinskih dozvola, odnosno potvrda glavnih projekata, dok je ugovor za izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda pripremljen po „žutoj“ knjizi, gdje se od izvođača očekuje izrada glavnog projekta, ishođenje građevinske dovole, te izgradnja i testiranje uređaja.

U natječajnom su razdoblju Hrvatske vode kao provedbeno tijelo u suradnji s Vodovodom d.o.o., organizirale posjete lokacijama radova i klarifikacijske sastanke u Slavonskom Brodu za sve zainteresirane potencijalne ponuditelje. Potencijalni ponuditelji također su imali mogućnost postavljanja dodatnih pitanja, na koja je odgovarano na mrežnim stranicama Europe Aid i Hrvatskih voda. Nakon natječajnog razdoblja slijedilo je iscrpno razdoblje ocjenjivanja ponuda od strane Ocjenjivačkog povjerenstva formiranog od strane Hrvatskih voda. U postupak ocjenjivanja su kao članovi povjerenstva osim predstavnika Hrvatskih voda bili uključeni i predstavnici Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, te predstavnici krajnjeg korisnika, Vodovod d.o.o. Ocjenjivanje ponuda su organizirali i vodili predsjednica i tajnik povjerenstva iz Hrvatskih voda bez prava glasa, dok je ponude ocjenjivalo 5 članova. Rad povjerenstva je stalno nadziran od strane Delegacije Europske unije u Republici Hrvatskoj. Ugovor za izgradnju sustava vodoopskrbe i odvodnje i ugovor o nadzoru nad izvođenjem radova dodjeljeni su konzorcijima sastavljenim od relevantnih domaćih i međunarodnih tvrtki. Za ugovor o nabavi opreme, kao i ugovor za izgradnju uređaja za pročićavanje otpadnih voda natječajni postupci su u tijeku.

3. PROVEDBA PROJEKTA

Hrvatske vode kao provedbeno tijelo potpisale su s Vodovodom d.o.o. kao krajnjim korisnikom EU pomoći 6. kolovoza 2010. godine Ugovor o provedbi projekta, u kojem je jasno naveden način provedbe projekta, kao i međusobne obaveze tijekom izgradnje i nakon izgradnje objekata. Prema potpisanom ugovoru Hrvatske vode provode projekt u svoje ime, a za račun investitora (Vodovoda d.o.o. iz Slavonskog Broda), dok se po izgradnji svi objekti iz projekta predaju na upravljanje Vodovodu d.o.o.

Nadalje je 18. listopada 2010. godine potpisan i Ugovor o sufinanciranju projekta između Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva, Hrvatskih voda, grada Slavonskog Broda i Vodovoda d.o.o., Slavonski Brod, kojim se definiraju načini i obveze u sufinanciranju projekta.

Kako bi se osigurala stalna i pravovremena uključenost svih strana tijekom provedbe projekta, imenovan je voditelj projekta od strane Hrvatskih voda, Jedinice za pripremu i provedbu projekata sufinanciranih sredstvima EU i njegovi pomoćnici , od strane Vodovoda d.o.o i od strane grada Slavonskog Broda.

Provedba Projekta započela je potpisivanjem Ugovora za nadzor nad radovima i potpisivanjem Ugovora za izgradnju sustava vodoopskrbe i odvodnje s odabranim izvođačima u rujnu 2010. godine. Vrijednost ugovora za nadzor iznosi 1,46 milijuna eura, dok je vrijednost ugovora za izgradnju sustava 10,49 milijuna eura. Predviđeno razdoblje provedbe projekta je do kraja 2014. godine. Rok za izgradnju sustava odvodnje je prosinac 2012. godine, nakon čega slijedi godinu dana garantnog razdoblja. Predviđeni rok ugovora za

nadzor je 50 mjeseci, odnosno do prosinca 2014. godine, ali kako je ugovor o nadzoru vezan uz sve ugovore o radovima, njegovo će se trajanje po potrebi prolongirati, jer ugovor o radovima za izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda još nije sklopljen.

Radovi su započeli u veljači 2011. godine, a zimsko se razdoblje koristilo za pripremu i ekipiranje izvođača, za pripremu elaborata za iskolčenje i iskolčenje, te za pripremu izvedbenih projekata, kako bi se s prvim proljetnim danima moglo intenzivno paralelno raditi na više lokacija u gradu.

ZAKLJUČAK

Primjer IPA „velikog“ infrastrukturnog projekta Slavonski Brod potvrđuje da je prijava projekata za sufinanciranje sredstvima EU izuzetno složen, dugotrajan i zahtjevan proces. Za uspješnu pripremu i prijavu projekata potrebno je već u ranoj fazi prepoznavanja potencijalnog projekta ostvariti kvalitetnu komunikaciju na razini lokalnih i državnih institucija, osnovati projektne timove, te pravovremeno educirati osobe zadužene za upravljanje projektom. Cijeli IPA program u Republici Hrvatskoj je i zamišljen kao sustav učenja, odnosno predstavlja prethodnicu za pripremu projekata koji će se u budućnosti sufinancirati sredstvima iz strukturnih i kohezijskih fondova, a za koje će apliciranje biti moguće nakon ulaska Republike Hrvatske u Europsku uniju. Kako će potencijalne alokacije sredstava iz strukturnih i kohezijskih fondova biti značajno veće od dosadašnjih alokacija iz IPA fonda, potrebno je na IPA projektima steći iskustva i znanja kako bi se u budućnosti brže, educiranije i spremnije pripremali i prijavljivali projekti.

Provedbom IPA „velikog“ infrastrukturnog projekta Slavonski Brod ostvarit će se koristi za lokalnu zajednicu, za Republiku Hrvatsku i za čitav sliv rijeke Dunav. Nakon provedbe projekta očekuje se novih 4.300 stanovnika priključenih na sustav javne vodoopskrbe, smanjenje gubitaka na mreži vodoopskrbe za 20%, priključenje novih 9.950 stanovnika na sustav odvodnje, te izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda 3. stupnja pročišćavanja za 80.000 ES, čime će se poboljšati kakvoća vode rijeke Save. Uspješnom provedbom projekta pridonijet će se provedbi pravne stečevine Europske unije u Republici Hrvatskoj, a naročito provedbi Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda.

LITERATURA

[1] Okvirni sporazum između Europske komisije i Vlade Republike Hrvatske u svezi sudjelovanja Republike Hrvatske u programima pomoći Europske zajednice

[2] Operativni Programa zaštite okoliša 2007. - 2009.

[3] Sporazum o financiranju provedbe Operativnog Programa zaštite okoliša 2007. - 2009.

[4] Uredba Vlade Republike Hrvatske o opsegu i sadržaju odgovornosti te ovlastima tijela nadležnih za upravljanje Instrumentom pretpristupne pomoći (IPA)

[5] PRAG „Practical Guide to contract procedures for EC external actions”

[6] 5 FIDIC Conditions of Contract for Construction

[7] Ugovor o provedbi projekta “Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za

pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda", 6. kolovoza 2010.

[8] Ugovor o sufinanciranju projekta "Sustav vodoopskrbe i odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda Slavonskog Broda", 18. listopada 2010.

AUTORI

Lidija Šljivarić, dipl.ing.građ. [a]
Robert Kartelo, dipl.ing.građ. [b]

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Hrvatska, lidija.sljivaric@voda.hr

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Hrvatska, robert.kartelo@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.05.

PROJEKT ZAŠTITE OD ONEČIŠĆENJA U PRIOBALNOM PODRUČJU 1 - OCJENA REZULTATA

Fani Bojanić, Vesna Grizelj Šimić

SAŽETAK: Opisuje se Projekt zaštite voda od onečišćenja na priobalnom području 1. Projekt je bio prva od tri faze Zajma s prilagodljivim programom (APL), čija realizacija je završila u ožujku 2010. Osnovni razvojni cilj Projekta je bio poboljšanje kakvoće priobalnih voda u hrvatskome Jadranu radi ispunjenja standarda EU-a koji se odnose na kakvoću vodnog okoliša u lokalnim zajednicama uključenima u projekt, na financijski i operativno održiv način. Prikazani su pokazatelji razvojnog cilja Projekta i pokazatelji prijelaznih rezultata te izvršena ocjena rezultata Projekta. Izneseni su i ostali učinci i rezultati s posebnim osvrtom na jačanje mreže praćenja kakvoće priobalnih voda. Iskustva stečena tijekom realizacije I faze projekta uzeta su u obzir prilikom oblikovanja II faze APL-a.

KLJUČNE RIJEČI: Priobalno područje, Projekt, Pokazatelji, Učinci, Ocjena

COASTAL CITIES POLLUTION CONTROL PROJECT 1 - RESULTS ASSESSMENT

SUMMARY: The paper describes the Coastal Cities Pollution Control Project 1, the first of three phases of an Adaptable Program Loan (APL), whose implementation was completed in March 2010. The basic developmental objective of the Project was the improvement of quality of coastal waters in the Croatian Adriatic in order to meet EU standards relating to the quality of the aquatic environment in participating local communities in a financially and operationally sustainable manner. The paper presents the indicators of the Project's developmental objective and intermediate outcome indicators, as well as an assessment of the results of the Project. The paper also lists other effects and results with a special emphasis on the strengthening of the coastal waters monitoring network. Lessons learned during implementation of Phase 1 of the Project were taken into account during the shaping of Phase 2 of the APL.

KEYWORDS: Coastal cities, Project, Indicators, Effects, Assessment

1. UVOD

U mjesecu ožujku 2010. završila je realizacija Projekta zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području 1 (Coastal Cities Water Pollution Control Project 1) - dalje: Projekt.

Projekt je bio prva od tri faze Zajma s prilagodljivim programom (APL). APL se provodi u razdoblju od dvanaest godina, a osmišljen je kao potpora opsežnom programu Republike Hrvatske za unapređivanje pružanja učinkovitih i održivih usluga odvodnje otpadnih voda u priobalnim gradovima, kako bi se poboljšala kakvoća priobalnih voda duž jadranske obale.

Vlada Republike Hrvatske je odabrala koristiti APL kao okvir za srednjoročni investicijski program kako bi se Hrvatskim vodama pomoglo u ispunjavanju zahtjeva za pristupanje Europskoj uniji. APL je omogućio Hrvatskim vodama da zauzmu fazni pristup identificiranju izvora financiranja, istovremeno jačajući potrebne pravne, nadzorne i upravljačke kapacitete.

Ukupan trošak Projekta bio je 80 milijuna eura, a financirao se zajmom Međunarodne banke za obnovu i razvoj (IBRD) u iznosu od 40 milijuna eura s rokom dospijeća od 15 godina (5 godina počeka i 10 dospijeća), s otplatom utvrđenom pri preuzimanju zajma, dok se ostatak iznosa financirao kombinacijom sredstava naknade za zaštitu voda (Hrvatske vode), krajnjih korisnika kroz posebne dodatke za Projekt, doprinose lokalnih zajednica i komunalnih društva, te transfere iz Državnog proračuna.

Hrvatske vode su odabrale potprojekte iz Programa zaštite voda od onečišćenja na priobalnom području među ukupno 163 potprojekta na obali koji obuhvaćaju nešto više od milijun ljudi ili 3,2 milijuna ekvivalenata stanovnika (ES). Prihvatljivost se temeljila na nekoliko kriterija, kao što su teret onečišćenja, osjetljivost prijemnika, potencijalan negativan učinak na razvoj turizma, te spremnost projektne dokumentacije. Za realizaciju kroz Zajam s prilagodljivim programom (APL) odabrano je ukupno 47 potprojekata (ukupno 477.000 ljudi i 1,22 milijuna ES) ukupne investicijske vrijednosti od 280 milijuna eura.

Provedba prve faze Projekta započela je u 2005. godini. Sudjelovalo je jedanaest lokalnih zajednica - Pula, Opatija, Rijeka, Novigrad, Zadar, Biograd, Rogoznica, Omiš, Dugi Rat, Makarska i Opuzen - kroz ukupno 11 (jedanaest) Ugovora o supsidijarnom zajmu i Ugovora o potprojektu.

Glavni korisnici projekta bili su stanovnici na područjima obuhvaćenim projektom, odnosno oko 300.000 stalnih stanovnika, te turisti u ljetnim mjesecima, što čini ukupno oko 850.000 ljudi na vrhuncu sezone koji imaju bolju uslugu odvodnje i s time povezane učinke, poput poboljšanja stanja okoliša i smanjenih rizika za zdravlje ljudi.

2. OCJENA REZULTATA

2.1. Razvojni cilj Projekta

Osnovni razvojni cilj Projekta je bio poboljšanje kakvoće priobalnih voda u hrvatskome Jadranu radi ispunjenja standarda Europske unije koji se odnose na kakvoću vodnog okoliša u lokalnim zajednicama uključenima u projekt, na financijski i operativno održiv način. Taj cilj se ostvaruje kroz tehničku pomoć i ulaganja u sustave za prikupljanje, pročišćavanje i zbrinjavanje otpadnih voda u lokalnim zajednicama koje sudjeluju u projektu.

Pokazatelji razvojnog cilja Projekta prikazani su u Tablici 1, a pokazatelji prijelaznih rezultata u Tablici 2.

Pokazatelji	Polazna vrijednost	Originalno ciljane vrijednosti	Stvarna vrijednost ostvarena na završetku
1. pokazatelj:	Postotak uzoraka vode uzetih na područjima za kupanje i područjima za uzgoj školjkaša u lokalnim zajednicama uključenima u Projekt koji ispunjavaju standarde EU.		
Vrijednost	97,9	98	98,5
2. pokazatelj:	Tehnička i financijska situacija komunalnih poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju u lokalnim zajednicama uključenima u Projekt na koju ukazuje stopa priključenosti na kanalizacijsku mrežu (prosjek).		
Vrijednost	56	65	68
3. pokazatelj:	Tehnička i financijska situacija komunalnih poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju u lokalnim zajednicama uključenima u Projekt na koju ukazuje koeficijent uspješnosti poslovanja (prosjek).		
Vrijednost	0,99	>1,1	0,97
Komentar	Navedena vrijednost je prosjek koeficijenata uspješnosti poslovanja 9 komunalnih poduzeća, od kojih je jedno premašilo ciljanu vrijednost, a 5 ih je bilo unutar granice od 10%.		
4. pokazatelj:	Tehnička i financijska situacija komunalnih poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju u lokalnim zajednicama uključenima u Projekt na koju ukazuje koeficijent servisiranja duga (prosjek)		
Vrijednost	4,7	>1,5	8,16
5. pokazatelj:	Smanjen teret onečišćenja ispuštenog u priobalnom području u lokalnim zajednicama uključenima u projekt (mjereno smanjenim BPK/ suspendiranim tvarima u efluentu iz UPOV-a u tonama/god.).		
Vrijednost	Nema polazne vrijednosti.	Nema specifičnog cilja.	BPK (122 t) ST (145 t)
Komentar	Ovaj je pokazatelj uveden tijekom provedbe i potvrdio je smanjenje tereta onečišćenja koje se ispušta u Jadransko more. Nulta polazna vrijednost se pretpostavlja ondje gdje prije nisu bili u funkciji uređaji za pročišćavanje otpadnih voda.		

Tablica 1. Pokazatelj(i) razvojnog cilja Projekta

Pokazatelj	Polazna vrijednost	Originalno ciljane vrijednosti	Stvarna vrijednost ostvarena na završetku
1. pokazatelj:	Osnovano je i kapitalizirano društvo-kći HV-a s posebnom namjenom i osigurana su sredstva za financiranje infrastrukture za zaštitu okoliša.		
Vrijednost	Ne.	Da.	Da.
Komentari	Društvo-kći HV-a s posebnom namjenom i sredstva za financiranje infrastrukture za zaštitu okoliša su zaista bili uspostavljeni i kapitalizirani prije početka provedbe.		
2. pokazatelj:	Uključena komunalna poduzeća ulažu u projekt kao što je i planirano.		
Vrijednost	Ne.	Da.	Da.
Komentari	Sva komunalna poduzeća su ulagala u projekt kao što je i planirano i uvela su dodatke na cijenu za financiranje doprinosa projektu.		
3. pokazatelj:	Postotak otpadnih voda lokalnih zajednica na obali uključenima u Projekt koji se pročišćava i ispušta u skladu sa zahtjevima EU i RH.		
Vrijednost	6%	50%	45%
Komentari	Ovaj cilj nije bio postavljen prilikom ocjene, nego je naknadno uveden tijekom provedbe. Ostvareno je nešto manje od ciljane vrijednosti.		
4. pokazatelj:	Postotak stanovništva u uključenim lokalnim zajednicama koji se može priključiti na odgovarajući sustav odvodnje i ispuštanja.		
Vrijednost	56%	65%	68%
Komentari	Ovaj cilj nije bio postavljen prilikom ocjene zbog nedostatka pouzdanih podataka i uveden je tijekom provedbe. Ostvareno je više od ciljane vrijednosti.		
5. pokazatelj:	Unaprijeđen kapacitet laboratorija MZOPUG-a za praćenje stanja okoliša kako bi se ocijenio učinak Programa na kakvoću priobalnih voda.		
Vrijednost	Ne.	Da.	Da.
Komentari	Kapacitet laboratorija MZOPUG-a je unaprijeđen.		
6. pokazatelj:	Broj županijskih laboratorija obnovljenih i opremljenih od strane glavnog i regionalnih laboratorija HV-a koji su u funkciji i interkalibrirani.		
Vrijednost	0	2	2
Komentari	2 laboratorija su obnovljena i opremljena kao što je planirano.		
7. pokazatelj:	Broj gradova uključenih u projekt u kojima je u funkciji sustav praćenja kakvoće mora i uspostavljeni polazni pokazatelji.		
Vrijednost	0	11	11
Komentari	Sustav praćenja kakvoće mora je u funkciji i polazni pokazatelji su uspostavljeni u svima gradovima uključenima u projekt.		
8. pokazatelj:	Kilometri izgrađenih sustava odvodnje.		
Vrijednost	0	101	102
Komentari	Ova ciljana vrijednost je premašena.		
9. pokazatelj:	Broj uređaja za pročišćavanje otpadnih voda puštenih u rad.		
Vrijednost	0	6	6
Komentari	Svi planirani uređaji za pročišćavanje otpadnih voda su izgrađeni i pušteni u rad.		

Tablica 2. Pokazatelj(i) prijelaznih rezultata

2.2. Ocjena rezultata

Važnost ciljeva, koncepcija i provedba - ocjena: Visoka - Važnost razvojnog cilja projekta - poboljšanje kakvoće priobalnih voda Republike Hrvatske - definiranog u Ugovoru o zajmu se ocjenjuje visokom, ne samo zato što odražava razvojne prioritete Republike Hrvatske prilikom ocjene koja je bila usmjerena na poticanje rasta i stvaranje uvjeta za konkurentnost kroz održavanje postojeće infrastrukture i zaštitu okoliša, osobito na priobalnom području, već i zato što podupire jedan od ciljeva aktualne Strategije partnerstva Svjetske banke s Republikom Hrvatskom od 8. kolovoza 2008., a taj je osigurati potporu za završetak procesa pristupanja Hrvatske Europskoj uniji. Unapređivanje odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda smatra se visokim prioritetom u ostvarivanju toga cilja.

Ostvarivanje razvojnih ciljeva projekta - ocjena: Umjereno zadovoljavajuća - Izvješće o završetku provedbe ostvarivanje razvojnog cilja projekta ocjenjuje kao umjereno zadovoljavajuće, uzimajući u obzir njegovu efikasnost na temelju definicije razvojnog cilja projekta u Ugovoru o zajmu, koja se naprosto odnosi na poboljšavanje kakvoće priobalnih voda hrvatskog Jadrana, kao i opseg u kojemu su komunalna poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju ostvarila poslovnu i financijsku održivost koja se mjeri pokazateljima uspješnosti.

U cjelini, onečišćenje priobalnih voda Jadranskog mora u blizini gradova uključenih u projekt se smanjilo, što je dovelo do bolje kakvoće voda što je rezultat projekta. Dok prvi pokazatelj rezultata o postotku uzoraka vode s područja za kupanje i područja za uzgoj školjkaša čija kakvoća odgovara standardima Europske unije ne odražava na pravi način ostvarivanje projektnog cilja (nekontrolirana ispuštanja se mahom nisu odvijala na područjima za kupanje), drugi pokazatelj pokazuje znatno smanjenje tereta onečišćenja koje dospijeva u Jadransko more iz nepročišćenih otpadnih voda u gradovima uključenima u projekt za u prosjeku 122 tona BPK (64%) i 145 tona suspendiranih tvari (65%) godišnje.

Iz porasta postotka otpadnih voda priobalnih lokalnih zajednica uključenih u projekt koje se pročišćavaju i ispuštaju u skladu sa zahtjevima Europske unije i Republike Hrvatske (sa 6% na 45%) i iz povećanja broja stanovnika koje se može priključiti na sustav odvodnje (s 56% na 68%) je očito znatno poboljšanje u kakvoći i stopi pokrivenosti uslugama odvodnje . Time se ne samo pridonijelo ukupnoj kakvoći okoliša i podržao potencijal za povezane neizravne gospodarske koristi, npr. za turizam i akvakulturu, već je to ujedno predstavljalo napredak Republike Hrvatske prema ispunjavanju zahtjeva Europske unije o zaštiti okoliša vezanih uz gospodarenje otpadnim vodama.

Financijska održivost: Među komunalnim poduzećima za vodoopskrbu i odvodnju uključenima u Projekt još uvijek postoje znatne razlike, a premda trend ostaje pozitivan, nekoliko komunalnih poduzeća još uvijek nije ostvarilo željenu financijsku održivost.

2.3. Ostali rezultati i učinci

Ostali učinci projekta vezani su uz pružanje pomoći Hrvatskoj na pripremanju za pristupne pregovore s Europskom unijom. U sklopu Projekta izrađen je niz značajnih studija koje su pomogle u pristupnim pregovorima. Najvažnije su: (i) Studija osjetljivosti priobalnog mora za određivanje osjetljivosti morskih područja. S obzirom na rokove provedbe Programa zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području, te budući da su

se očekivala znatna ulaganja u razvoj sustava za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda, postalo je nužno predložiti popis zaštićenih područja gdje treba provoditi intenzivnije zaštitne mjere prije nego što stupe na snagu podzakonski akti koji reguliraju pitanje osjetljivosti područja na ispuštanje komunalnih otpadnih voda. Stoga preliminarni prijedlog zaštićenih područja obuhvaća nove zahtjeve zaštite u skladu s vodnim zakonodavstvom Euroepske unije i važećim nacionalnim zakonodavstvom, te time određuje građevinsku praksu u području zaštite voda. Time je osigurano da su projektna rješenja tehnički primjenjiva (zahtjevi i dozvole) i prihvatljiva za okoliš. Budući da su zaštićena područja preliminarno određena na temelju kriterija Europske unije i dostupnih podataka, može se pretpostaviti da će ovaj prijedlog biti u velikoj mjeri usklađen s Registrom zaštićenih područja; (ii) Strateška procjena utjecaja na okoliš za procjenu kumulativnih učinaka projekta na okoliš. Na temelju rezultata provedenih proračuna može se zaključiti da su u svim analiziranim područjima gdje postoji značajno opterećenje akvatorija u vidu velikog broja sustava javne odvodnje s pripadajućim podmorskim ispustima ispunjeni propisani kriteriji (Guidelines for submarine outfall structures for Mediterranean small and medium-sized coastal communities, UNEP, Atena: 1995). Studiju treba ažurirati procjenom i tumačenjem kumulativnih učinaka ispusta koji će biti izgrađeni u okviru cjelokupnog Programa.; te (iii) konzultantske usluge čiji je cilj bio uspostava sustava praćenja kakvoće mora na obali, i na mjestu ispuštanja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, te modeliranje onečišćenja na lokacijama Projekta.

Projekt je nadalje podržao jačanje Hrvatskih voda kao ključne institucije za upravljanje zaštitom voda u Hrvatskoj, što je rezultiralo učinkovitijim upravljanjem vodama u cjelini. Podržao je i napore države da se u Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva unaprijede stručni kapaciteti za nezavisno praćenje i ocjenu stanja okoliša. Program je bio osmišljen i kao potpora jačanju tehničkih i upravljačkih kapaciteta na lokalnoj razini posredstvom Hrvatskih voda i kao potpora institucionalnoj reformi potrebnoj kako bi se stvorilo povoljno okružje za eventualno sudjelovanje privatnog sektora kao mehanizma za poboljšano upravljanje i za angažiranje dodatnih financijskih sredstava.

Također, u I. fazi su Hrvatske vode stekle iskustvo u pripremi podprojekata i njihovu provedbu u skladu sa zahtjevima Republike Hrvatske i Svjetske banke. Iskustvo stečeno u I. fazi jača održivost II. faze i čitavog Programa. I. faza je ocijenjena na sredini i na kraju njezine provedbe, a iz njih naučene pouke korištene su u oblikovanju II. faze. Program je također pojačao sudjelovanje lokalnih vlasti i njihovih komunalnih poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju čime se smanjila ovisnost o sredstvima središnje države.

2.4. Jačanje mreže praćenja kakvoće priobalnih voda

Dva projekta namijenjene jačanju sustava za nadzor kakvoće priobalnih voda financirana su sredstvima Projekta: (i) Jačanje mreže za nadzor kakvoće priobalnih voda - Program praćenja kakvoće Jadranskog mora; te (ii) Sustav za praćenje laboratorija Hrvatskih voda, ovlaštenih laboratorija i komunalnih poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju.

Opsezi dva navedena projekta su usklađeni s glavnim ciljevima Projekta: (i) zaštita Jadranskog mora od onečišćenja komunalnim otpadnim vodama; te (ii) podrška u usklađivanju tj. transpoziciji zahtjeva i standarda Europske unije.

Okvirna direktiva o vodama (ODV), u cijelosti prenesena u hrvatsko zakonodavstvo, u

svom regulatornom dijelu posebno naglašava potrebu za uspostavom složenog i sveobuhvatnog praćenja stanja voda (kopnenih površinskih voda, prijelaznih i priobalnih voda, te podzemnih voda). Uspostavu prikladnog praćenja priobalnih voda u Republici Hrvatskoj dodatno otežava vrlo razvedena obala i razvijen arhipelag, pa odabir reprezentativnih postaja za monitoring u skladu s Okvirnom direktivom o vodama zahtijeva dobro poznavanje hidrografskih značajki mora.

U okviru provedbe I. faze Projekta zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području provedena su dva projekta monitoringa, čiji koncepti odgovaraju zahtjevima ODV u smislu pokrivenosti (Jadransko more) i u smislu programa:

(i) Istraživanja i analize provedeni u okviru projekta „Jačanje mreže za nadzor kakvoće priobalnih voda - Program praćenja kakvoće Jadranskog mora " koji predstavlja temelj za uspostavu nadzornog monitoringa tj. monitoringa stanja priobalnih voda te služi kao deskriptor za ocjenu ekološkog stanja. Uvjet za uspostavu ispravnog sustava praćenja stanja mora implicira dobro poznavanje hidrogeografskih značajki (strujanja, valovi, temperature, salinitet itd.), na temelju kojih se određuju područja mora „homogenih" značajki („vodno tijelo") na kojim se uspostavljaju lokacije za monitoring i određuje program monitoringa. Podaci o stanju kakvoće mora na toj lokaciji redovno se šalju agencijama Europske komisije te se koriste za ocjenjivanje općenitog i/ili ekološkog statusa priobalnog mora. Budući da nema sustavnog istraživanja koje bi pokrivalo Jadransko more kao cjelinu (modeli za pojedinačne manje dijelove na razini općeg stanja priobalnog mora mogu se smatrati samo polazištem), rečena istraživanja i analize su kvalitativan pomak prema uspostavi kvalitetnog, sustavnog i dugoročnog monitoringa na temelju kojeg će Republika Hrvatska službeno izvješćivati Europsku uniju o stanju mora;

(ii) Drugi projekt proveden u okviru Projekta zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području - Sustav za praćenje laboratorija Hrvatskih voda, ovlaštenih laboratorija i komunalnih poduzeća za vodoopskrbu i odvodnju - također je povezan s monitoringom koji treba provoditi u skladu sa zahtjevima ODV, tj. operativnim monitoringom. Vrsta i broj pokazatelja i učestalost uzorkovanja na monitoring postajama u okviru ovog programa monitoringa značajno se razlikuju od nadzornog monitoringa, te bi trebali ukazivati na promjene u kakvoći vodnog tijela koje proizlaze iz primjene nekih od vodnogospodarskih mjera ili aktivnosti. Početak ovog monitoringa povezan je s područjem („vodnim tijelom ili njegovim dijelom") koje je identificirano kao "pod značajnim utjecajem antropogenih aktivnosti", zbog kojeg je njegovo stanje već loše, ili postoji mogućnost degradacije. Drugim riječima, ovaj projekt uspostavio je monitoring na lokacijama u kojima su se u okviru I. faze Projekta zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području trebali izgraditi ispusti pročišćenih otpadnih voda, time tvoreći kvalitetan temelj za identifikaciju učinaka poduzetih aktivnosti (zadatak operativnog monitoringa).

Oba projekta ispunila su zadane zadatke: osigurala su veliku količinu podataka koji će biti uneseni u baze podataka o kakvoći priobalnih voda unutar Informacijskog sustava voda, te su dali tumačenje rezultata u odnosu na važeći regulatorni okvir i europske standarde, s preporukama za daljnje aktivnosti. Dovođenje sustava monitoringa na razinu sukladnosti sa zahtjevima propisa Europske unije određeno je razdoblje prilagodbe, posebice u odnosu na raspoložive financijske i stručne kapacitete, i u uvjetima gdje nadležnost za monitoring priobalnih voda još nije u potpunosti regulirana. Stoga je podrška Projekta zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području (kroz njegovu komponentu za jačanje

mreže za nadzor kakvoće priobalnih voda iz koje su financirani projekti koji trenutno provode prikladne aktivnosti praćenja stanja mora na temelju oba projekta monitoringa) pružena tijekom tog postupka od iznimnog značaja, te bi ih definitivno trebalo nastaviti u II. fazi Projekta zaštite od onečišćenja voda u priobalnom području, nadopunjene na temelju prijedloga dobivenih iz rečena dva projekta monitoringa.

ZAKLJUČAK

Iskustva stečena tijekom realizacije I faze projekta uzeta su u obzir prilikom oblikovanja II faze APL-a.

(i) Kao što je slučaj sa svim projektima, visok stupanj predanosti i kapaciteta Zajmoprimca je ključan za uspješnu provedbu projekta i osiguravanje održivosti;

(ii) Zajmovi s prilagodljivim programom su prikladni za ostvarivanje dugoročnih ciljeva u sektorima kao što su gospodarenje otpadnim vodama kroz mjerljiv pristup u fazama, a kasnije faze pružaju Svjetskoj banci i Vladi Republike Hrvatske mogućnost da unaprijede koncepciju i uspješnost projekta;

(iii) Pokazatelje praćenja uspješnosti treba pažljivo odabrati kako bi se u potpunosti obuhvatilo ostvarivanje razvojnih ciljeva projekta/programa, a Okvir rezultata treba biti usklađen s ciljem;

(iv) Korisnici su spremni platiti više troškove (u ovom slučaju preko 50% kapitalnih troškova) za odvodnju ondje gdje postoji poseban gospodarski interes, kao što je u ovom slučaju zaštita turističkog tržišta;

(v) Dodaci na ulaganje mogu biti učinkovito sredstvo za otkrivanje potreba i unapređivanje održivosti ulaganja.

LITERATURA

[1] Izvješće o završetku provedbe i rezultatima (Hrvatske vode, ožujak 2010).

[2] Izvješće o završetku provedbe i rezultatima (Svjetska banka, ožujak 2010).

AUTORI

Fani Bojanić, dipl.ing.građ. [a]
Vesna Grizelj Šimić, dipl.ing.građ. [b]

[a] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, Fani.Bojanic@voda,hr

[b] Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, Vesna.GrizeljSimic@voda,hr

R 3.06.

PROJEKT UNUTARNJE VODE

Tanja Ecimović, Marko Veselčić, Dinko Polić

SAŽETAK: Sklapanjem Ugovora o zajmu između Republike Hrvatske i Međunarodne banke za obnovu i razvoj u srpnju 2007. godine osigurana su sredstva za financiranje projekata koji imaju za cilj poboljšanje uvjeta vodoopskrbe, odvodnje i zaštite od poplava u slivovima rijeka Save, Drave i Dunava.

Iznos zajma je 100 milijuna eura, a Hrvatske vode osiguravaju 5,0 milijuna eura iz svojih izravnih prihoda. Ukupan iznos za financiranje projekta Unutarnje vode je 105,0 milijuna eura.

Projekt Unutarnje vode obuhvaća i programe unapređenja poslovanja komunalnih društava, podršku aktivnosti Hrvatskim vodama u pripremi dokumentacije u postupku efikasnijeg korištenja EU fondova i pristupanja EU, te financijsku potporu pripremi pojedinačnih projekata koji će se financirati iz Zajma. Ukupan iznos predviđen za ove aktivnosti je 5 milijuna eura.

Preostali iznos od 100 milijuna eura odnosi se na financiranje izgradnje građevina obrane od poplava, izgradnju ključnih građevina komunalne infrastrukture, kao što su sustavi odvodnje i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, uređenje vodocrpilišta i izgradnju uređaja za pročišćavanje pitkih voda, te izgradnju vodoopskrbnih sustava.

KLJUČNE RIJEČI: projekt Unutarnje vode, vodoopskrba, odvodnja, zaštita od štetnog djelovanja

SUMMARY: With the conclusion of the Loan Agreement between the Republic of Croatia and the International Bank for Reconstruction and Development on July, 2007, funds were ensured for financing of projects whose objective is the improvement of water supply, wastewater sewerage and flood protection in the Sava, Drava and Danube river basins.

The Loan amount is € 100 million, and Hrvatske vode shall ensure € 5.3 million from direct revenue. The total amount for financing of the Inland Waters Project is € 105.3 million.

The Inland Waters Project covers the programmes of improvement of operation of utility companies, support to Hrvatske vode in the preparation of documents in the process of more efficient use of EU funds and accession to the EU, and financial support for the preparation of individual projects to be financed from the Loan. The total amount foreseen for these activities is € 5 million.

The remaining amount of € 100 million shall be used for financing of construction of flood defence structures, construction of key facilities of utility infrastructure as sewerage systems and wastewater treatment plants, regulation of well fields and construction of water treatment plants and water supply systems.

KEY WORDS: Inland Waters Project, water supply, sewerage systems, flood defence

1. UVOD

U okviru programa suradnje Svjetske banke i Republike Hrvatske na sastanku održanom u rujnu 2005. godine predstavljen je koncept projekta pod nazivom „Unutarnje vode“, odnosno „Inland Waters Project“.

Ugovor o zajmu i Ugovor o projektu potpisani su 12. lipnja 2007. godine u Davoru. Hrvatski Sabor je na sjednici održanoj 13. srpnja 2007. godine donio Odluku o proglašenju Zakona o potvrđivanju Ugovora o zajmu između Republike Hrvatske i Međunarodne banke za obnovu i razvoj za projekt Unutarnje vode.

Svjetska banka je zajam proglasila efektivnim 29. siječnja 2008. godine. Period predviđen za implementaciju projekta završava s 31. srpnjem 2012. godine.

Sklapanjem Ugovora o zajmu osigurana su sredstva za financiranje projekata koji imaju za cilj poboljšanje uvjeta vodoopskrbe, odvodnje i zaštite od poplava u slivovima rijeka Save, Drave i Dunava. Za provedbu projekta odgovorne su Hrvatske vode koje su osnovale posebnu Jedinicu za provedbu projekta „Unutarnje vode“.

2. STRUKTURA I TIJEK PROJEKTA

Projekt se sastoji od dvije komponente.

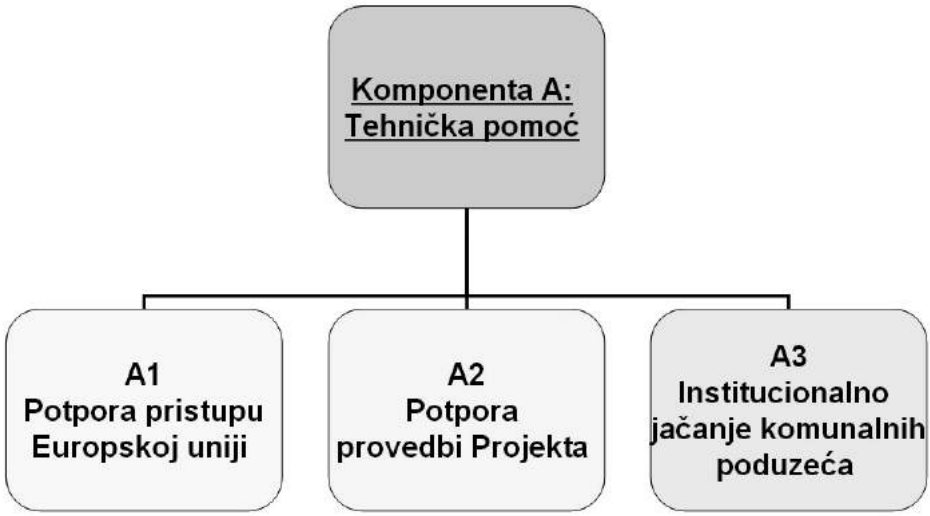
2.1. Komponenta A: Tehnička pomoć

Komponenta A je podijeljena u 3 potkomponente što je prikazano na slici 1.

Potkomponenta A1 - Potpora pristupu Europskoj uniji:

(a) Institucionalno jačanje Hrvatskih voda i Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva za provedbu Strategije upravljanja vodama (“Narodne novine”, br. 91/08).

(b) Pomoć u pripremi projekata koji bi se financirali sredstvima EU i iz drugih izvora, uključujući studije izvedivosti, pripremu dokumentacije za ishođenje lokacijske i građevinske dozvole, idejni i glavni projekt, procjenu utjecaja na okoliš i pripremu natječajne dokumentacije.



Slika 1. Podjela komponente A

Potkomponenta A2 - Potpora provedbi Projekta

(a) Pružanje pomoći u provedbi Hrvatskim vodama, uključujući izradu studija izvedivosti i druge dokumentacije za investicije koje će se financirati u sklopu komponente B Projekta.

(b) Pomoć u financijskom upravljanju, nabavi i pitanjima zaštite okoliša i sigurnosti u sklopu Projekta.

(c) Priprema izvješća o Projektu i revizije.

Potkomponenta A3 - Institucionalno jačanje komunalnih poduzeća

(a) Pružanje pomoći komunalnim poduzećima u provedbi, uključujući pripremu studija izvedivosti i druge dokumentacije potrebne za ishođenje lokacijske i građevinske dozvole, idejnog i glavnog projekta i procjena utjecaja na okoliš.

(b) Priprema natječajne dokumentacije.

(c) Nadzor gradnje.

(d) Pomoć u smanjivanju gubitaka vode i unapređivanje financijskog položaja komunalnih poduzeća.

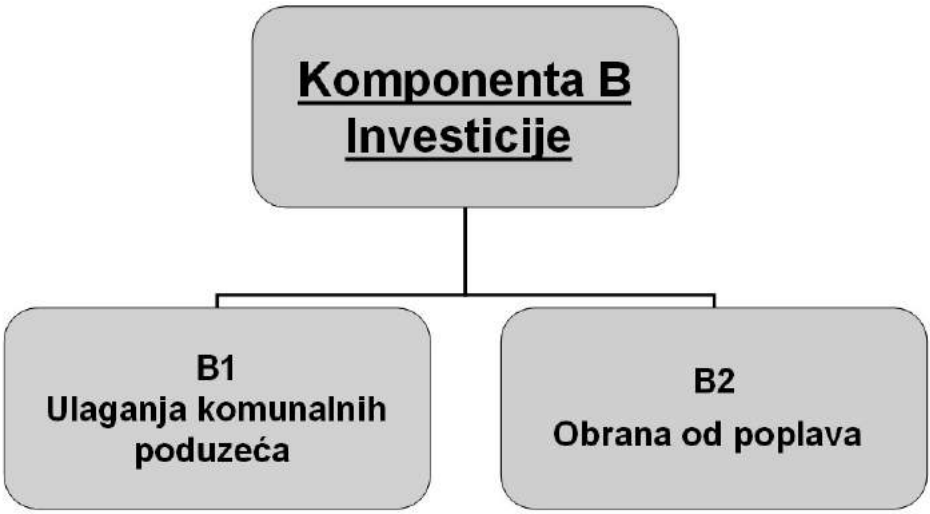
(e) Priprema izvješća o provedbi podprojekta.

(f) Anketiranje korisnika na početku i na kraju provedbe podprojekta.

U sklopu komponente A, Hrvatske vode pripremaju niz inovativnih studija povezanih s revitalizacijom močvarnih područja, uključujući izradu elaborata ekološke revitalizacije područja starog korita rijeke Vuke - meandar Laslovo, revitalizaciju Stare Drave na području Aljmaškog rita, i revitalizaciju poplavnog područja u Kopačkom ritu.

2.2. Komponenta B: Investicije

Komponenta B je podijeljena u 2 potkomponente što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Podjela komponente B

Potkomponenta B1 - Ulaganja komunalnih poduzeća

Komunalna poduzeća provode podprojekte sa sljedećim ciljem:

(a) poboljšati i proširiti usluge vodoopskrbe, uključujući izgradnju i obnovu vodoopskrbne mreže, izgradnju i obnovu uređaja za obradu voda, izgradnju i obnovu objekata za zahvaćanje voda, izgradnju i obnovu crpnih sustava, izgradnju i obnovu spremnika, te postavljanje priključaka za kanalizacijsku mrežu,

(b) poboljšati i proširiti usluge prikupljanja otpadnih voda, uključujući izgradnju i obnovu kanalizacijske mreže, izgradnju i obnovu crpnih stanica, te postavljanje priključaka na kanalizacijsku mrežu,

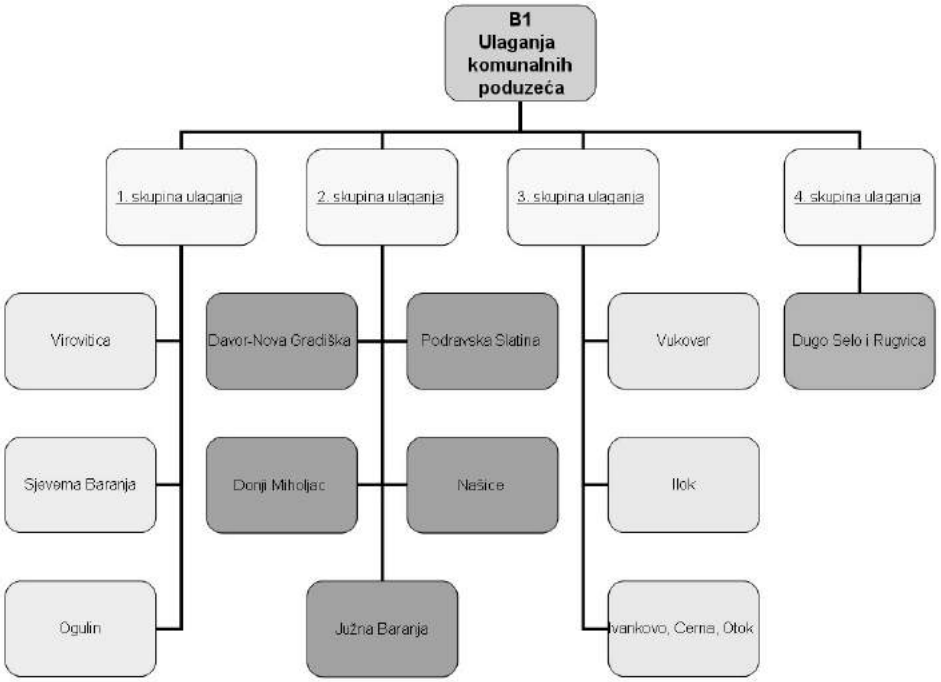
(c) pročišćavati prikupljene otpadne vode u skladu s mjerodavnim propisima na ekološki prihvatljiv način izgradnjom i obnovom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i sustava za odvodnju otpadnih voda.

Potkomponenta B1 je podijeljena na 4 skupine ulaganja kako je prikazano na slici 3.

1. skupina ulaganja :

- Virovitica - povećanje obuhvata kanalizacije

  Ugovor o supsidijarnom financiranju Sustava odvodnje grada Virovitice potpisan je u prosincu 2007. godine na iznos podzajma od 4,908,000 eura. Ukupna dužina kolektorske mreže koja je izvedena putem ovog projekta iznosi 25 km s pripadajućim objektima (15 crpnih stanica). Nakon provedbe ovog projekta priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu će se povećati na 80 %.



Slika 3. Podjela potkomponente B1

- Sjeverna Baranja - poboljšanje obuhvata vodoopskrbe

  Ugovor o supsidijarnom financiranju regionalnog vodoopskrbnog sustava Sjeverna Baranja potpisan je u srpnju 2008. godine na iznos 5.127.000 eura. Dovršeno je 9,5 km vodoopskrbnih cjevovoda i vodosprema u Batini što predstavlja 65% dovršenih radova na vodoopskrbnim cijevovodima. Potpisan je ugovor za izgradnju vodocrpilišta u Prosinama i Topolju i u tijeku je izgradnja. Nakon provedbe ovog projekta priključenost stanovništva na vodoopskrbnu mrežu će se povećati na 90%.

- Ogulin - povećanje obuhvata kanalizacije i izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

  Ugovor o supsidijarnom financiranju Sustava odvodnje grada Ogulina potpisan je u prosincu 2007. godine na iznos podzajma od 9,306,000 eura. Ukupna dužina kolektorske mreže koja će biti izvedena putem ovog projekta iznosi 15 km s pripadajućim objektima (6 crpnih stanica). Trenutno je dovršeno oko 95% planiranih radova na izgradnji kanalizacijskih kolektora.

Potpisan je i ugovor za izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta 7500 ES. U tijeku je izrada glavnog projekta i izdavanje izmjenjene lokacijske dozvole. Trenutna priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu iznosi 0%, a nakon provedbe ovog projekta povećati će se na 50%.

2. skupina ulaganja:

- Davor-Nova Gradiška - poboljšanje obuhvata vodoopskrbe i izgradnja crpilišta i uređaja za pročišćavanje pitke vode

  Ugovor o supsidijarnom financiranju regionalnog vodoopskrbnog sustava Davor - Nova Gradiška potpisan je u svibnju 2009. godine na iznos podzajma od 14.544.000 eura. Ukupna dužina vodoopskrbnih cjevovoda koja će biti izvedena putem ovog projekta iznosi 112 km s pripadajućim objektima (crpilište Davor, vodosprema Staro Petrovo Selo i Davor Z2, Z3 i 2 crpne stanice Ljupina i Cernik). Dovršeno je 36,5 km vodoopskrbnih cjevovoda kroz realizaciju potpisanih ugovora. Trenutna priključenost stanovništva na vodoopskrbnu mrežu iznosi 27%, a nakon provedbe ovog projekta povećati će se na 70%.

- U Slavonskoj Podravini - Podravska Slatina - poboljšanje obuhvata vodoopskrbe i povećanje kapaciteta crpilišta

  Ugovor o supsidijarnom financiranju vodoopskrbnog sustava Podravska Slatina potpisan je u veljači 2011. godine na iznos 5.450.000 eura. Potpisan je ugovor za rekonstrukciju i dogradnju uređaja za pročišćavanje pitke vode „Medinci" u Slatini (povećanje kapaciteta sa 60 l/s na cca 100 l/s) i ugovor za izgradnju glavnih magistralnih vodoopskrbnih cjevovoda u dužini od 12 km.

- U Slavonskoj Podravini - Donji Miholjac - poboljšanje obuhvata vodoopskrbe

  Ugovor o supsidijarnom financiranju vodoopskrbnog sustava Donji Miholjac potpisan je u veljači 2011. godine na iznos 1.800.000 eura. Ugovorena je izgradnja glavnih opskrbnih cjevovoda Donji Miholjac-Kapelna-Viljevo i vodoopskrbne mreže naselja Ivanovo, Bockovac, Blanje i Viljevo u dužini 30 km.

- Našice - povećanje obuhvata kanalizacije i izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda;

  Ugovor o supsidijarnom financiranju Sustava odvodnje grada Našica potpisan je u listopadu 2008. godine na iznos podzajma od 7,427,000 eura. Ukupna dužina kolektorske mreže koja će biti izvedena putem ovog projekta je 48,5 km s pripadajućim objektima (16 crpnih stanica, 2 na području Velimirovca, a preostalih 14 na području Jelisavca). Ugovorena je i nadogradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Našice kapaciteta 15 000 ES. U tijeku je izrada idejnog projekta. Trenutna priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu iznosi 62%, a nakon provedbe ovog projekta povećati će se na 78%.

- Regija južne Baranje - povećanje obuhvata kanalizacije

  Ugovor o supsidijarnom financiranju regionalnog sustava odvodnje Južne Baranje potpisan je u svibnju 2009. godine na iznos podzajma od 2,817,000 eura. U tijeku je nabava materijala i opreme za izgradnju kanalizacijskog sustava u naselju Darda i za izgradnju kolektorske i sekundarne kanalizacijske mreže u naselju Bilje. Ukupna dužina kolektorske mreže koja će biti izvedena putem ovog projekta iznosi 21 km (13 km na području Bilja, te 8 km na području Darde) s pripadajućim objektima (5 crpnih stanica 4 na području Bilja i 1 na području Darde). Trenutna priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu iznosi 0%, a nakon provedbe ovog projekta povećati će se na 80%.

3. skupina ulaganja:

- Vukovar - povećanje obuhvata kanalizacije;

  Ugovor o supsidijarnom financiranju s gradom Vukovarom i komunalnim poduzećem je potpisan u srpnju 2010. godine. na iznos 7.100.000 eura. Ugovorena je izgradnja glavnog kolektora općine Borovo i grada Vukovara. Nakon provedbe ovog projekta glavni kolektor će prikupiti sve otpadne vode iz sekundarne mreže i odvesti ih do buduće lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Ukupna dužina glavnog kolektora koja će biti izvedena putem ovog projekta je 6,3 km s pripadajućim objektima (4 crpnih stanica, 3 rasteretne građevine).

- Ilok - izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda;

  Ugovor o supsidijarnom financiranju je potpisan u srpnju 2010. godine na iznos 2.650.000 eura. Ugovorena je izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta 8.000 ES i u tijeku je izrada glavnog projekta.

- Ivankovo, Cerna, Otok i Komletinci - povećanje obuhvata kanalizacije i izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda;

  Ugovor o supsidijarnom financiranju s gradovima Vinkovci i Otok i općinama Cerna i Ivankovo te komunalnim poduzećem je potpisan u listopadu 2010. godine na iznos 9.800.000 eura. Potpisan je ugovor za izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u naseljima Ivankovo (8.500 ES), Cerna (6.000 ES) i Otok (8.000 ES) i proširenje postojećeg UPOV-a u Vinkovcima. U tijeku je izrada glavnih projekata. Ugovorena je i izgradnja kanalizacijske mreže općine Ivankovo i Cerna. Trenutna priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu u naseljima Ivankovo i Cerna iznosi 0%, a nakon provedbe ovog projekta priključenost u naselju Ivankovo će se povećati na 70%, a u Cerni na 60%. U naselju Otok imamo priključenost od 30%, gdje će na kraju ovog projekta iznositi 80%. Ukupna dužina kanalizacijskih kolektora koja će biti izvedena putem ovog projekta je 22 km s pripadajućim objektima (4 crpne stanice, 1 rasteretna građevina).

4. skupina ulaganja:

- Dugo Selo i Rugvica - povećanje obuhvata kanalizacije i izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Ugovor o supsidijarnom financiranju s gradom Dugo Selo, općinom Rugvica i komunalnim poduzećem je potpisan u prosincu 2010. na iznos 12.800.000 eura. Ukupna dužina kolektorske mreže koja će biti izvedena putem ovog projekta je 29 km s pripadajućim objektima (9 crpnih stanica, 3 rasteretne građevine). Ugovorena je i izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta 25.000 ES. Trenutna priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu iznosi 37%, a nakon provedbe ovog projekta povećati će se na 60%.

Lokacije prema skupinama ulaganja su prikazane na slici 4.

Slika 4. Lokacije prema skupinama ulaganja

Potkomponenta B2 - Obrana od poplava

Potkomponenta B2 obuhvaća provođenje investicija za unapređenje mjera obrane od poplava na retencijskom području srednje Posavlje, uključujući izgradnju i obnovu nasipa, izgradnju i obnovu preljevnih građevina, te izgradnju i obnovu zaštitnih zidova:

(i) Rekonstrukcija nasipa i izgradnja zaštitnog zida u Martinskoj Vesi i Trebarjevu je dovršena. (ii) Rekonstrukcija sjevernog nasipa retencije Lonjsko polje u dužini od 1,8 km je također dovršena. Predstoji (iii) Sanacija i nadvišenje postojećeg lijevog savskog nasipa na dionici Gunja - Rajevo Selo i (iv) Rekonstrukcija nasipa Drava - Dunav u Baranji. Zatim (v) Izgradnja dijela južnog nasipa u močvarnom području Lonjskog polja i (vi) Izgradnja preljevnih objekata u Palanjeku i Jezeru koje su potrebne za upravljanje vodama i korištenje sustava.

2.3. Financiranje

Iznos zajma je 100 milijuna eura, a Hrvatske vode osiguravaju 5,3 milijuna eura iz svojih izravnih prihoda. Ukupan iznos za financiranje projekta Unutarnje vode je 105,3 milijuna eura. Predviđeno je potpisivanje ukupno 109 ugovora za sve navedene usluge, robe i radove.

Prema odluci Vlade Republike Hrvatske povrat zajma će se financirati:

- sredstvima Državnog proračuna u iznosu od 45% - 70% (u prosjeku do 50% ukupnog zajma),
- izvornim prihodima Hrvatskih voda u iznosu 25%,
- sredstvima krajnjih korisnika u iznosu 5% - 30%, ovisno o financijskim mogućnostima jedinica lokalne samouprave koji su obuhvaćeni projektom.

Zajam je razvojno infrastrukturni: rok otplate 15 godina uključivo poček od 5 godina, kamata EUR LIBOR + 0,22 do 0,35, 0,25% (na neiskorišteni iznos) troškovi rezervacije

sredstava, početni troškovi pripreme zajma 0%. Dogovoreno je da se troškovi financiranja zajma (interkalarna kamata) tijekom izgradnje pripisuju glavnici.

ZAKLJUČAK

Očekivani rezultati projekta Unutarnje vode su:

- povećanje obuhvata stanovništva javnom vodoopskrbom,
- povećanje obuhvata stanovništva sustavom odvodnje otpadnih voda,
- povećanje količine pročišćenih komunalnih otpadnih voda,
- povećanje retencijskog obujma za ublažavanje vršnih protoka poplavnih valova,
- poboljšanje učinkovitosti poslovanja komunalnih društava,
- povećanje postotka stanovništva koji su zadovoljni komunalnom uslugom,
- povećanje broja projekata koji će se dostaviti Vladi Republike Hrvatske kako bi bili kandidirani za sufinanciranje sredstvima različitih međunarodnih financijskih institucija, odnosno sredstvima fondova Europske unije.

LITERATURA

[1] Strategija upravljanja vodama („Narodne novine”, br. 91/08)

[2] Ugovor o zajm---u između Republike Hrvatske i Međunarodne Banke za obnovu i razvoj sklopljen 12. lipnja 2007. godine, kao pomoć u financiranju Projekta „Unutarnje vode“

[3] Izvješće o tijeku projekta iz studenog 2010. godine

[4] Aide Memoire uz Misiju za potporu provedbi projekta iz prosinca 2010. godine

AUTORI

Tanja Ecimović, dipl. ing. bioteh.[1]
Marko Veselčić, univ. spec. oecoing.[2]
Dinko Polić, dipl. ing. građ.[3]

Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska

[1] tecimovic@voda.hr

[2] mveselcic@voda.hr

[3] dpolic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.07.

OPTIMALIZACIJA VELIKIH VODOOPSKRBNIH SUSTAVA KORIŠTENJEM REGULACIJSKIH VENTILA

Luka Jelić, Dragutin Mihelčić

SAŽETAK: Ovim radom prikazana je važna uloga regulacijskih ventila u upravljanju tokom vode pri koncipiranju vodoopskrbnih sustava. Različita pogonska stanja u dugačkim dovodnim cjevovodima do kojih dolazi zbog varijacija protoka, a koje su rezultat promjena izdašnosti izvorišta i potreba za vodom tijekom godine ili pak zbog razlika u sadašnjoj i planiranoj potrošnji vode, onemogućuju racionalna proširenja odnosno daljnji razvoj vodoopskrbnih sustava u smislu maksimalne iskoristivosti temeljnih vodoopskrbnih građevina. Iz tog razloga se pri modeliranju, a potom i izgradnji velikih vodoopskrbnih sustava, mora voditi računa o upotrebi regulacijskih ventila što je ovim radom prikazano na primjerima nekih projektiranih i izvedenih rješenja u vodoopskrbnim sustavima.

KLJUČNE RIJEČI: Regulacijski ventili, vodoopskrbna konstrukcija, modeliranja, pogonska stanja, NUS, automatizacija

OPTIMIZATION OF LARGE WATER SUPPLY SYSTEMS BY USING REGULATION VALVES

SUMMARY: This paper presents the important role of regulation valves in managing water flows when conceiving water supply systems. Different operating states in long supply pipelines that cause pressure variations, which are the result of changes in source yields and water needs during the year or differences between the current and planned water consumption, prevent rational expansion or further development of water supply systems in terms of maximum use of water supply facilities. For this reason, modelling and subsequent construction of large water supply systems should take into account the use of regulation valves, which this paper presents on the example of several designed and constructed solutions in water supply systems.

KEYWORDS: Regulation valves, water supply structure, modelling, operating state, SCADA, automation

1. UVOD

Velik dio vodoopskrbnih sustava u Republici Hrvatskoj građen je u uvjetima kada je mogućnost upravljanja njima bila ograničena tada raspoloživim tehničkim dostignućima. Projektiranje i izvođenje temeljnih građevina vršilo se po uobičajenim načelima: zahvaćanje, prerada i doprema vode do vodospremnika iz kojeg se onda odvijala vodoopskrba, ili pak do nasuprotnih vodospremnika iza naselja.

Dovod vode od izvorišta do vodospremnika ili iz vodospremnika u niže smješteni vodospremnik završavao je direktnim, nekontroliranim ulijevanjem do razine kada bi se vodospremnik napunio što bi aktiviralo lokalni sistem u vodospremniku koji bi onemogućio dovod vode. Pražnjenje do određene razine vode u vodospremniku vršilo bi se kroz drugu, odlaznu cijev. Za to vrijeme bi ponegdje u dugačkim dovodnim cjevovodima dolazilo do značajnog smanjenja ili čak i potpunog prekida toka vode, sve do ponovnog punjenja vodospremnika.

U takvim okolnostima tlačna stanja na dovodu bilo je teško ili nemoguće kontrolirati, pa je usputna vodoopskrba bila otežana ili čak u potpunosti onemogućena.

Tehnološkim razvojem omogućeno je korištenje regulacijskih ventila u vodoopskrbnim sustavima kojima se može kontrolirati nizvodni tlak, protok vode, uzvodni tlak, a što uz sve raširenu primjenu nadzorno-upravljačkih sustava (NUS-a) može i mora utjecati na planirana, ali i postojeća tehnička rješenja, odnosno na formiranje vodoopskrbnih konstrukcija.

2. OPTIMALIZACIJA VELIKIH VODOOPSKRBNIH SUSTAVA KORIŠTENJEM REGULACIJSKIH VENTILA

2.1. Tlačne linije na dugačkim dovodnim cjevovodima

Tlačne linije na dugačkim cjevovodima prvenstveno ovise o brzinama u cjevovodima, a dominirajući padovi tlaka nastaju zbog linijskih gubitaka. Najčešće korišten izraz za gubitak energije u cijevima okruglog presjeka je Darcy-Weisbachov (Jović, 2006)

$$J_e = \frac{\lambda}{D}\frac{v^2}{2g}$$

i koji ukazuje da porastom brzine tečenja vode padovi tlaka rastu eksponencijalno. Iz tog razloga, a pri modeliranju dugačkih dovodnih cjevovoda u vodoopskrbnim sustavima teško je održati stabilna tlačna stanja u uvjetima velikih varijacija protoka do kojih može doći iz nekoliko standardnih razloga.

Prvi razlozi su moguće varijacije izdašnosti pojedinih izvorišta ovisno o godišnjim dobima. Kao primjer koji će se kasnije analizirati može se navesti brdski vodozahvat Veličanka na vodoopskrbnom sustavu Požeštine gdje izdašnost varira od 110 l/s u tzv. "zimskim" mjesecima do svega 20-tak l/s u "ljetnim" mjesecima, tj. vršnoj potrošnji, a čiji se prihvat vode i dovod do najvećeg potrošača - grada Požege odvija istim dovodnim cjevovodom duljine oko 15 km.

Drugi razlog zbog kojih dolazi do promjena protoka u dovodnim cjevovodima jest razlika između potrošnje vode od vremena kada su se ti dovodni cjevovodi projektirali i gradili u odnosu na sadašnju ili neku dugoročno planiranu, poglavito na sustavima s intenzivnim

turističkim razvojem.

Treći razlog je nekontrolirano punjenje vodospremnika smještenih na krajevima dugačkih dovodnih cjevovoda i taj razlog je pravilnom upotrebom regulacijskih ventila u sustavu moguće ublažiti. Varijacije protoka u dovodnim cjevovodima mogu biti znatne, posebice ukoliko se voda bez regulacije ulijeva u vodospremnike dok se oni ne napune, a ventil plovak ih zatvori, u odnosu na protočna stanja dok je ulaz u vodospremnik zatvoren (moguć je i potpuni prekid toka vode ukoliko nema usputnih potrošača na dovodnom cjevovodu). Na pojedinim dugačkim dovodnim cjevovodima (npr. vodoopskrbni sustav Zadar) nalazi se više ogranaka koji pune više vodospremnika. U takvim okolnostima punjenja vodospremnika, dovodni cjevovodi su bili dimenzionirani većih dimenzija kako bi omogućili punjenje jednog ili više vodospremnika u sustavu odjednom, bez određenog vremenskog rasporeda, već prema razini vode u pojedinom vodospremniku. Takav način pogona vodoopskrbnog sustava uz katkad povećane brzine tečenja i veće linijske gubitke tlaka (zbog mogućeg istovremenog punjenja vodospremnika) utječe na promjenjiva tlačna stanja u dovodnim cjevovodima što može onemogućiti urednu vodoopskrbnu usputnih naselja koja su direktno spojena na dovodne cjevovode ili otežati daljnja proširenja sustava.

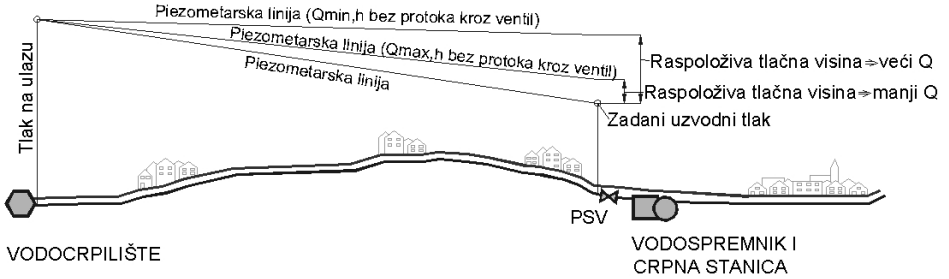
2.2. Regulacijski ventili u vodoopskrbnim sustavima

Od velikog broja različitih regulacijskih ventila koji se koriste pri modeliranju vodoopskrbnih sustava može se izdvojiti nekoliko vrlo praktičnih (Rossman, L. A., 2005):

a) Ventil za održavanje nizvodnog tlaka - PRV (Pressure Reducing Valve),
b) Ventil za održavanje uzvodnog tlaka - PSV (Pressure Sustaining Valve),
c) Ventil za održavanje konstantnog protoka - FCV (Flow Control Valve),
d) Igličasti ventil sa dvije tlačne sonde, mjeračem protoka i upravljačkom glavom.

a) Ventil za održavanje nizvodnog tlaka (PRV) ima ulogu održavanja konstatnog tlaka na izlazu regulacijskog ventila, a postavlja se na mjestima gdje se obzirom na topografiju i planiranu konstrukciju dugoročno ne zahtijevaju veći tlakovi, a što onda utječe na povoljnije pogonske prilike te smanjenje gubitaka. U novije vrijeme se često postavljaju i na ulazima u vodoopskrbne DMA zone (District Metering Areas) radi maksimalno mogućeg sniženja tlaka, čime se dodatno smanjuju gubici vode. Varijanta ovog tipa ventila je programabilna u smislu da se vrijednost odlaznog tlaka automatizira u ovisnosti o primjerice protoku (požarna opterećenja, maksimalne satne potrošnje,...) ili jednostavno o dobu dana (noćni i dnevni režimi).

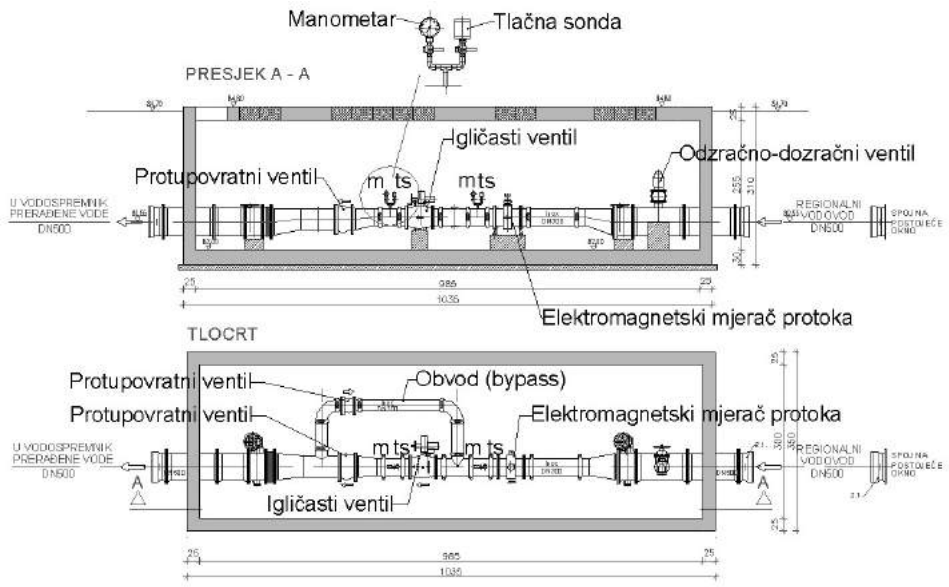
b) Ventil za održavanje uzvodnog tlaka (PSV) ima ključnu ulogu u održavanju stabilnih tlačnih uvjeta na dijelovima sustava koji su udaljeni ili pak uzvodno smješteni od nekog velikog potrošača ili vodospremnika u koji se ulijeva voda iz dovodnih cjevovoda. On funkcionira na način da održava konstantni uzvodni tlak potreban za vodoopskrbu uzvodnih naselja, a protoci kroz ventil su obrnuto proporcionalni uzvodnoj potrošnji, odnosno ventil propušta najmanju količinu vode onda kada je uzvodna potrošnja najveća (varijacije satnih potrošnji) i obratno (vidi sliku 1).



Slika 1. Piezometarske linije na dovodnom cjevovodu

c) Ventil za održavanje konstantnog protoka (FCV) ima ulogu u tzv. "smirivanju" toka vode na način da se kroz njega propušta kontinuirana količina vode, čime se maksimizira iskoristivost dovodnih cjevovoda (smanjuju se varijacije protoka). Satne varijacije potrošnje nizvodno od takvog ventila pokrivaju se iz pravilno pozicioniranih vodospremnika.

d) Igličasti ventil sa dvije tlačne sonde, mjeračem protoka i upravljačkom glavom zapravo je mjerno upravljački sklop s mogućnošću da preuzme bilo koju funkciju od prethodno navedenih ventila, ovisno o stvarnim potrebama, ali mu se dodatnim algoritmima rada mogu zadati i druge funkcije. Konstrukcija igličastog ventila je takva da u odnosu na "gotove" ventile ima manju osjetljivost na pojavu kavitacije, pa ga je dobro primjenjivati tamo gdje se dugoročno očekuju značajnije promjene protoka. Primjer takvog sklopa izgrađenog ispred prizemnog vodospremnika "Kanovci" kod Vinkovaca u sklopu vodoopskrbnog sustava Istočna Slavonija prikazan je u nastavku u slici 2.



Slika 2. Mjerno upravljački sklop

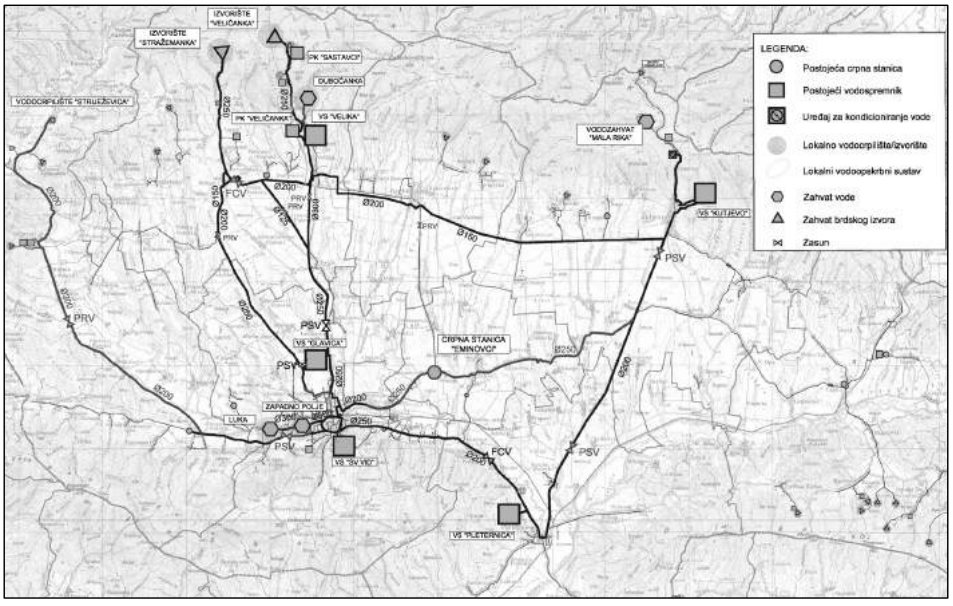
Iz prikazane slike vidljivo je da se u ovakvom sklopu mjere podaci o trenutnom protoku i tlakovima ispred i iza igličastog ventila, a algoritmima rada se upravlja otvorenošću ventila kako bi se definirao uzvodni tlak, nizvodni tlak ili protok.

2.3. Primjeri upotrebe regulacijskih ventila

Na slijedećim primjerima vodoopskrbnih sustava Požeština, Zadar i Istočna Slavonija će se u kratkim crtama prikazati položaji i uloga regulacijskih ventila.

Vodoopskrbni sustav Požeština

Vodoopskrba sustava Požeština temelji se na dovodu visoko kvalitetne vode sa brdskih izvorišta Stražemanka, Veličanka i Kutjevačka rika, te crpilišta iz aluvija rijeke Orljave koja se uključuju kada se smanji izdašnost brdskih izvorišta. Sadašnja vodoopskrbna konstrukcija je formirana da se voda izvorišta Stražemanka i Veličanka dovodi dovodnim cjevovodom od Velike do Požege preko regulacijskog ventila kojim se održava konstantni protok kako bi tlačna stanja na području Velike i Kaptola bila odgovarajuća te kako bi se omogućio tok određene količine vode prema sušnom istočnom dijelu sustava (slika 3).



Slika 3. Osnovna konstrukcija vodoopskrbnog sustava Požeština

Obzirom na kronični nedostatak vode u ovom sustavu, te pronalaženjem novih količina iznad Velike u obroncima Papuka, ali i potrebom da se maksimalno iskoristi sva raspoloživa voda iz brdskih predjela i dovede na područja cijelog sustava, formirana je vodoopskrbna konstrukcija koja se bazira na 10-tak temeljnih regulacijskih ventila kojima se kontroliraju tlačna stanja i tok vode.

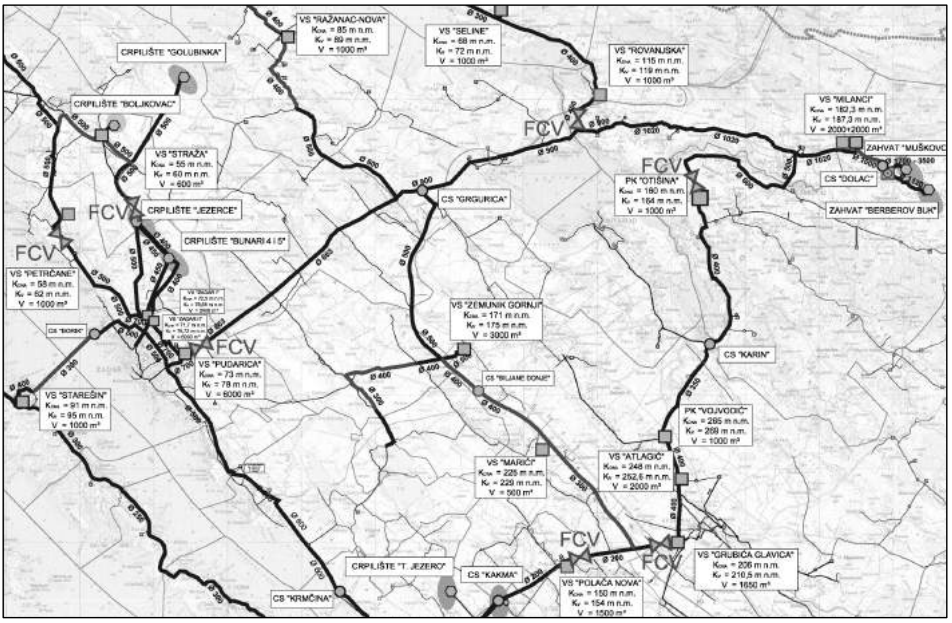
Izvorišta, odnosno pripadajući im vodospremnici i prekidne komore pozicionirane su na

način da je omogućen tok iz izvorišta Stražemanke preko Velike u koju se uključuje izvorište Veličanka, te novo crpilište Dubočanka, prema istoku do Kutjevačkog područja i južno prema gradu Požega. Višak vode crpilišta Stražemanka (voda sa Stražemanke puni vodospremnik "Glavica" preko ventila za održavanje uzvodnog tlaka radi usputnih naselja) koji se prije propuštao prema Velikoj preko tzv. "lire" planira se kontrolirano propuštati preko ventila za održavanje konstantnog protoka. Tok vode prema Požegi regulirat će se na način da se održava uzvodni tlak (ventil u Mihaljevcima) čime će se, uz planiranu rekonstrukciju staroga cjevovoda Velika-Kutjevo, omogućiti bolji tlačni uvjeti na području Velika-Kaptol uz povećanu mogućnost dotoka vode na Kutjevačko područje i dalje na istok. Količina vode koja bi se propuštala prema Požegi regulirat će se obzirom na potrebe grada, ali i mogućnosti dotoka sa zahvata Stražemanka, Veličanka i crpilišta Dubočanka na način da će se pratiti rad zdenaca na Dubočanki, dovod iz pravca Stražemanke i transport prema Požegi (regulacijom protoka ili uzvodnog tlaka na ventilu u Mihaljevcima), a sve u ovisnosti o nivou vode u vodospremniku "Velika".

Kako bi se osigurala povoljna tlačna stanja na sjevernom dijelu sustava, osim ventila u Mihaljevcima i na ulazu u vodospremnik "Glavica", planira se ugradnja dvaju regulacijskih ventila za održavanje uzvodnog tlaka na cjevovodu Kutjevo-Pleternica, a Pleternički dio sustava se puni još i kontinuiranom količinom vode radi maksimalne iskoristivosti cjevovoda Požega-Pleternica ventilom za održavanje konstantnog protoka kod Kuzmice. Na slici 3. prikazani su i neki ventili za održavanje nizvodnog tlaka koji se mogu ugraditi kako bi se osigurali povoljni tlačni uvjeti na tim dionicama, obzirom na visinsku razvedenost sustava sa obronaka Papuka na sjeveru do aluvija rijeke Orljave i gradova Požege i Pleternice.

Vodoopskrbni sustav Zadar

Vodoopskrba Zadarskog područja temelji se na crpilištima Golubinka, Bokanjac (Jezerce i Bunari 4 i 5) i Boljkovac, te na dovodu vode iz udaljenog zahvata Muškovci preko crpne stanice "Dolac", vodospremnika "Milanci" i 40 km dovodnog cjevovoda iz kojeg se voda ulijeva u vodospremnik "Pudarica". Kada se poveća potrošnja u sustavu, a smanji izdašnost ili poveća salinitet crpilišta, uključuje se zahvat vode na rijeci Zrmanji (Berberov buk), također preko crpne stanice "Dolac" i navedenog dovodnog cjevovoda duljine oko 40 km (slika 4).



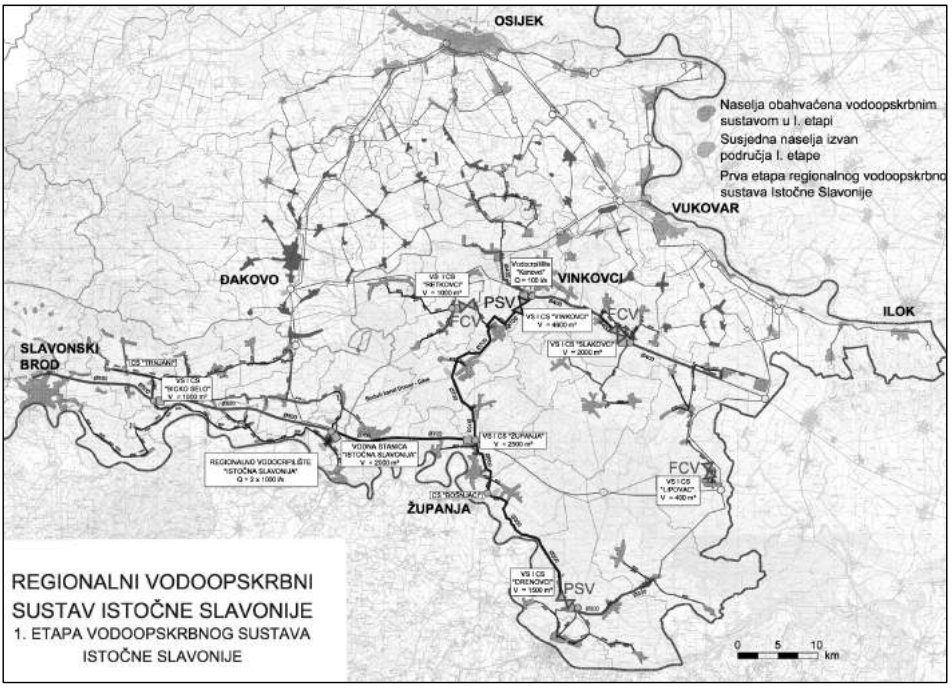
Slika 4. Osnovna konstrukcija vodoopskrbnog sustava Zadar

Iz ovakve koncepcije dovoda vode jasno je da su varijacije protoka u tom dovodnom cjevovodu znatne (zahvat na Berberovom buku projektiran je na 725 l/s, a Muškovci na 450 l/s) te je nužno potrebna regulacija punjenja vodospremnika i umirivanje toka vode u tom dovodnom, kao i ostalim temeljnim dovodnim cjevovodima. To je predviđeno ugradnjom regulacijskih ventila za održavanje konstantnog protoka (odvojak prema Starigradu, ventili Petrčane i Jezerce za proširenje sustava prema zapadu-Vir te na ulazima u vodospremnike, prvenstveno "Pudarica" i "Otišina", kao i ostalim manjim usputnim), uz kontroliranu isporuku vode za proširenja sustava (istočni pravac, jug-otoci) kontinuirano preko crpnih stanica (istočni pravac preko crpne stanice "Grgurica" i jug-otoci preko crpne stanice "Borik") iza kojih dolaze kontravodospremnici za pokrivanje satnih varijacija potrošnje.

Na ovaj način omogućeno je maksimalno dugoročno korištenje glavnih dovodnih cjevovoda uz stabilne tlačne uvjete, što je novijom koncepcijskom dokumentacijom moglo utjecati (uz potrebu za smanjenjem gubitaka i smanjivanjem planirane potrošnje pogotovo poljoprivrednih područja) na izbacivanje ideje o gradnji paralelnog dovodnog cjevovoda od vodospremnika "Milanci" do Zadra.

Vodoopskrbni sustav Istočna Slavonija

Prostor Istočne Slavonije obuhvaća tri županije: Vukovarsko-srijemsku, Osječko-baranjsku i Brodsko-posavsku. Navedeno područje oskudijeva sa raspoloživim količinama vode odgovarajuće kakvoće zbog čega je, a nakon duljeg hidrogeološkog istraživanja definirana lokacija regionalnog crpilišta Istočna Slavonija na području naselja Sikirevci.



Slika 5. Osnovna konstrukcija vodoopskrbnog sustava Istočna Slavonija

Najveći napori uloženi su u dovršetak izgradnje i pripremu za rad tzv. "nulte" faze u kojoj je moguće upustiti do cca 300 l/s vode iz triju zdenaca crpilišta Istočna Slavonija direktno u sustav. Izgrađen je dovodni cjevovod od crpilišta do lokacije buduće vodne stanice, te je nastavljen i spojen na otprije izgrađeni cjevovod Vinkovci-Županja-Babina Greda. Izvedeno je regulacijsko okno (mjerno upravljački sklop) pred objektom "Kanovci".

Uveden je nadzorno-upravljački sustav (NUS) na kojem su među ostalim i slijedeći signali: rad crpki na crpilištu, protoci nakon crpki, mjerna sonda tlaka na crpilištu, protok na igličastom ventilu i tlakovi u oknu RO1 (ventil za održavanje uzvodnog tlaka na dovodu vode u vodospremnik "Kanovci"), razina vode u vodospremniku "Kanovci", ...

Posljednji korak "nulte faze" bila je automatizacija sustava. Modeliran je pogon sustava u "nultoj" fazi na nekoliko načina, te je konačno predložen način funkcioniranja vodoopskrbe. Predloženim algoritmom rada omogućuje se uključivanje zdenaca u pogon ovisno o povećanju potreba za vodom koje može biti uzrokovano potrebom u Vinkovcima (potreba punjenja vodospremnika "Kanovci") ili potrebom u gradu Županji i naseljima "uzvodno" od igličastog ventila. To se ostvaruje na način da se omogućavanjem punjenja vodospremnika sa većim količinama ili potrebom za vodom "uzvodnih" naselja povećava broj okretaja na crpki i daje signal da se upali slijedeća. Kada se smanji potrošnja na "uzvodnoj" dionici, pada broj okretaja crpki, pa slijedi nalog za isključivanjem crpke. Drugi nalog za gašenjem crpke indirektno slijedi nakon što nivo vode u vodospremniku "Kanovci" dosegne gornju zadanu vrijednost, nakon koje se algoritamski smanjuje odlazni tlak u Sikirevcima, a shodno tome smanji crpljenje. Sve ovo ovako funkcionira

uz zadani uzvodni tlak na igličastom ventilu čime se osiguravaju stabilni tlačni uvjeti na cijelom sustavu od Sikirevca do Vinkovaca.

Daljnji razvoj sustava uključuje izgradnju objekata (vodospremnici i crpne stanice) "Županja", "Retkovci", "Slakovci", "Bicko Selo" i "Drenovci" (vidi sliku 5). Kako bi se smanjile varijacije protoka na dugačkim dovodnim cjevovodima planirano je punjenje vodospremnika "Županja" i "Bicko Selo" kontinuirano konstantnim crpljenjem iz centralne vodne stanice "Istočna Slavonija", kao i punjenje vodospremnika "Slakovci", "Retkovci" i "Lipovac" preko ventila za održavanje konstantnog protoka. Punjenje vodospremnika "Kanovci" i "Drenovci" predviđeno je preko ventila za održavanje uzvodnog tlaka kako bi se omogućila vodoopskrba uzvodnih naselja i grada Županja, obzirom da su svi navedeni vodospremnici u sustavu prizemnog karaktera zbog topografskih prilika u kojoj se kote terena na cijelom području razlikuju tek u nekoliko metara.

ZAKLJUČAK

Prikazana rješenja korištenja regulacijskih ventila u vodoopskrbnim sustavima pokazuju kako se uz pravilno koncipiranje vodoopskrbnih sustava te uz sve raširenu primjenu nadzorno-upravljačkih sustava (NUS-a), mogu kontrolirati pogonska stanja (nizvodni tlak, protok vode, uzvodni tlak,...) i osigurati uredna vodoopskrba u uvjetima različite potrebe za vodom uz maksimalno korištenje temeljnih vodoopskrbnih građevina.

Da bi to bilo moguće, potrebno je na suvremen način ugraditi odgovarajuće regulacijske ventile na točno odabranim lokacijama, koji bi bili povezani nadzorno upravljačkim sustavom (NUS). Takvi sustavi, ali i odgovarajući algoritmi pogona, u kombinaciji s kalibriranim matematičkim modelom, postaju ključni za optimiziranje rada vodoopskrbnih sustava, ali i bržu kontrolu, što je pogotovo značajno pri određivanju gubitaka iz sustava.

LITERATURA

[1] Hidroprojekt-ing d.o.o. Zagreb (2005), *Hidrauličke analize i dimenzioniranje magistralnih građevina 1. etape vodoopskrbnog sustava Istočne Slavonije*

[2] Hidroprojekt-ing d.o.o. Zagreb (2008), *Studija razvitka vodoopskrbe na području Požeško-slavonske županije*

[3] Hidroprojekt-ing d.o.o. Zagreb (2008), *Vodoopskrbni plan Zadarske županije*

[4] Jović, V. (2006), *Osnove hidromehanike*

[5] Rossman, L. A., 2005, EPANET 2, Users manual, EPA, USA, Cincinnati OH, 2005

AUTORI

Luka Jelić, dipl.ing. [a]
Dragutin Mihelčić, dipl. ing. [a]

[a] Hidroprojekt-ing d.o.o, Draškovićeva 35/1, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, *ljelic@hp-ing.hr, dmihelcic@hp-ing.hr*

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.08.

MOŽE LI SE ODVOJITI GAŠENJE POŽARA OD JAVNE VODOOPSKRBE?

Davor Malus, Dražen Vouk

SAŽETAK: U radu su razmatrane mogućnosti razdvojenog rješavanja javne vodoopskrbe i zaštite od požara u malim ruralnim naseljima, bez gospodarskih i društvenih sadržaja. Razlog za razdvajanje je u visokim troškovima izgradnje, pogona i održavanja javnih sustava vodoopskrbe koje nameće primjena Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/06). Na konkretnim projektima je dokazano da su troškovi građenja za 40 – 50% manji, ako se primjeni selektivni pristup u primjeni Pravilnika. Ta činjenica trebala bi biti dovoljan argument, da se postojeći pravilnik modificira uvođenjem članaka s kriterijima za primjenu selektivnog pristupa.

KLJUČNE RIJEČI: vodoopskrba malih naselja, razdvajanje vodoopskrbe od gašenja požara, alternativni postupci gašenja požara

CAN FIRE FIGHTING BE SEPARATED FROM PUBLIC WATER SUPPLY?

SUMMARY: The paper discusses the possibilities of separating public water supply from fire protection in small rural settlements without economic and social facilities. The reason for the separation is in the high costs of construction, operation and maintenance of public water supply systems imposed by the application of the Ordinance on the hydrant network for fire fighting (NN 8/06). It has been proven on real water supply designs that the construction costs are for 40 - 50% lower, if selective approach in the application of the Ordinance is used. This fact should be a sufficient argument that the existing ordinance should be modified by introducing the articles with the criteria for applying a selective approach.

KEY WORDS: water supply of small settlements, the separation of water supply from fire fighting, alternative methods of fire fighting

1. UVOD

U Republici Hrvatskoj vrijedi pravilo da se s izgradnjom javne vodoopskrbe osiguraju potrebne količine vode i tlak za gašenje požara. Volumen potrebne vode, protok i tlak na hidrantima propisani su Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/06), (u daljnjem tekstu Pravilnik).

U velikim i gusto naseljenim urbanim sredinama protupožarna količina čini na glavnim opskrbnim cjevovodima manji dio ukupnog protoka i ne utječe bitno na promjer cijevi. Mala seoska naselja imaju bitno manji mjerodavni protok vode od Pravilnikom zadanog protupožarnog protoka koji uvjetuje primjenu većih cijevnih profila. Veći cijevni profili, dodatne crpne stanice za povećanje tlaka, velike vodospreme i hidranti, značajno utječu na cijenu građenja, pogona i održavanja. U uvjetima raspolaganja ograničenim financijskim sredstvima čini se razumnim smanjiti spomenute troškove, priključiti što veći broj korisnika na sustave javne vodoopskrbe, a gašenje požara riješiti zasebno, na alternativne načine.

O ovom problemu stručna javnost govori duže vrijeme, ali dosad nema inicijativa koje bi dovele do promjena u legislativi.

2. OPĆE STANJE VODOOPSKRBE

Prema podacima (HV, 2008) Republika Hrvatska je 2006. godine pokrivala 80% potreba za vodom svojih stanovnika putem javnih sustava vodoopskrbe. Pored javnih sustava vodoopskrbe postoje 443 tzv. seoska vodovoda, formalno ilegalna iz kojih se namiruje 6% stanovnika. Ostalo su individualna rješenja vodoopskrbe i vrlo mali seoski vodovodi (12%) (DZJZ, 2008). Glavni cilj razvoja javne vodoopskrbe je povećanje opskrbljenosti stanovništva na 85 do 90% do 2020. godine (Strategija, 2009).

U težnji da javnim sustavom vodoopskrbe pokrije što veći postotak stanovništva, država i lokalne jedinice uprave i samouprave u svojim planovima vodoopskrbe namjeravaju uložiti velika financijska sredstva u proširenje javne vodoopskrbne mreže. Velika i veća naselja su pokrivena vodoopskrbom, a preostala su manja udaljena naselja ili skupovi zaseoka s ukupnim brojem stanovnika obično manjim od 500. Ova naselja u pravilu nemaju gospodarskih subjekata, institucija i drugih društvenih sadržaja.

Iz strukture troškova županijskih planova vodoopskrbe za određena planska razdoblja (obično do 2025. godine) može se vidjeti da se najveći dio novca predviđa za vodoopskrbu naselja koja ju još nemaju, a potom za ostale potrebe. Istovremeno, analizom troškova izgradnje pogona i održavanja javnih vodoopskrbnih sustava može se uočiti da sa širenjem vodoopskrbnog područja prema malim ruralnim naseljima, naglo rastu jedinični troškovi. Građenje je skupo jer je jedinična duljima vodoopskrbne mreže znatno veća nego u urbanim sredinama, a uz to još dolazi veliki broj vodosprema i stanica za podizanje tlaka. Iz istog je razloga i održavanje skuplje, a prihodi mali zbog malog broja korisnika.

2.1 Hidraulički aspekti

Za neko hipotetsko naselje ili više zaseoka od ukupno 500 stanovnika i dnevnu potrošnju od 120 l/dan, koeficijent neravnomjernosti potrošnje od 3, maksimalni protok u glavnom opskrbnom cjevovodu je 2,1l/s. Ovaj bi protok mogla, prema pravilima struke zadovoljiti cijev promjera 50mm.

Kad se udovolji kriterijima propisanim Pravilnikom, mjerodavni protok je 12,1 l/s, a odgovarajući cjevovod je promjera 110mm. Osim toga, na poziciji najnepovoljnije smještenog potrošača potrebno je osigurati radni tlak na hidrantu od 2,5 bara. To je često nemoguće zbog konfiguracije terena (mala su ruralna naselja često razbacana po brdima) i/ili zbog niskog priključnog tlaka na postojeći vodovod. Tlak u mreži može se regulirati položajem vodospreme ili interpolacijom stanica za podizanje tlaka.

Ako količine za gašenje požara nisu osigurane u korisnom volumenu postojećih vodosprema i ako se mora izgraditi nova vodosprema, ona praktično ne može biti manja od 100m^3, jer su 72m^3, potrebna za gašenje požara. Bez tog zahtjeva vodospreme mogu biti značajno manje. Dodatni trošak na vodovodima koji su dimenzionirani i opremljeni za gašenje požara su hidranti koji se postavljaju na propisanom razmaku i određenim prisilnim točkama.

2.2. Sanitarni aspekti

U vodoopskrbnim sustavima starost vode u cijevima ovisi o brzinama strujanja. U cjevovodima u kojim je najveći dio kapaciteta osiguran za vodoopskrbu, a manji za gašenje požara, brzine će biti povoljne, a s njima i prihvatljiva starost vode.

U prije zamišljenom slučaju, brzina vode će u satu s najvećom potrošnjom vode, a bez požara, biti 0,22m/s, a za srednji protok 0,07m/s. Ove brzine nisu povoljne s aspekta taloženja, a mogu utjecati na organoleptičku kakvoću vode i povećanje rizika za zdravlje, pogotovu ako u vodi ima tragova organskih tvari. Isto tako, zbog povećane starosti vode, umanjit će se ili nestati rezidualni klor. Situacija će biti nepovoljnija na sekundarnoj vodoopskrbnoj mreži, gdje su brzine još manje. Lijek za takvu situaciju su česta ispiranja cjevovoda, i interpolacija dodatnih stanica za dezinfekciju, što predstavlja povećani trošak pogona i održavanja.

2.3. Teza

Nakon što su izloženi negativni aspekti primjene Pravilnika na malim ruralnim naseljima, postavlja se pitanje: je li moguće tehnički razdvojiti gašenje požara od vodoopskrbe? Što bi se time postiglo i koji bi bili pozitivni i negativni učinci?

Razlog za postavljanje takvog pitanja leži u činjenici da bi se dijelovi javnih vodoopskrbnih sustava mogli izgraditi za manje novaca s manjim troškovima pogona i održavanja, ako bi se ostvario selektivni pristup u projektiranju vodoopskrbe i hidrantske mreže za gašenje požara.

Najveći problem javne vodoopskrbe u RH su svakako vrlo veliki gubici vode. Njihovim smanjenjem na polovinu, praktično bi nestali problemi nedovoljnog kapaciteta. Zbog toga bi najveći dio financijskih sredstava koja su ograničena i bit će još dugo ograničena, trebalo uložiti na sanaciju gubitaka. Proširenje vodoopskrbnih sustava do opskrbljenosti od 95% i više, zahtjeva vrlo velika ulaganja i daje vrlo male prihode. Zbog toga bi se osiguranje vode za gašenje požara moglo riješiti korištenjem alternativnih načina.

Da bi se mogla argumentirano predložiti takva mogućnost, potrebno je utvrditi:

- koliko se velike uštede u građenju, pogonu i održavanju mogu ostvariti,
- koliki su rizici u pogledu zaštite materijalnih dobara i ljudskih života od požara
- koja se alternativna rješenja mogu ponuditi i kolika je njihova učinkovitost.

2.3.1. Uštede u građenju, pogonu i održavanju

Da bi se procijenile moguće uštede, napravljena su četiri projekta vodoopskrbe za stvarna naselja u Republici Hrvatskoj, (Mudrić, 2010, Franjić, 2010, Grljak, 2010, Kvartuč, 2011).

Pod nadzorom svojih mentora diplomanti Građevinskog fakulteta obradili su područje općine Vojnić (20 naselja), općine Hum na Sutli (18 naselja) i visoku zonu vodoopskrbe općine Desinić (11 naselja).

U prvoj su varijanti projektirane vodoopskrbne mreže prema važećim pravilima. Druga varijanta projektirana je na način da se važeća pravila vodoopskrbe primjene u svim dijelovima općine gdje postoje institucije (škole, vrtići, zdravstvene i druge ustanove), dok su zaseoci projektirani samo za potrebu opskrbe vodom. Odabran je najmanji poprečni presjek cijevi DN50mm. U slučaju općine Hum na Sutli analizirana su rješenja s različitim lokacijama zahvata vode, kao i varijante uključivanja većih seoskih vodovoda. Analizirano je realno povećanje troškova vodoopskrbe sa širenjem vodoopskrbnog područja prema rijetko naseljenim udaljenim naseljima (Franjić, 2010, Kvartuč, 2011).

Rezultati projekta su ukratko slijedeći: uštede u troškovima građenja bile su na projektima selektivne primjene Pravilnika, 40-50%. Troškovi pogona i održavanja nisu komparirani, ali bi svakako pokazali daljnje uštede. Navedeni projekti vodoopskrbe pokazali su realne uštede u troškovima građenja, što se je dosad spominjalo u stručnim krugovima samo na razini ekspertnih procjena.

Ova bi činjenica trebala biti dovoljnom, da se ozbiljno razmotri mogućnost promjene, dopune, Pravilnika.

2.3.2. Rizici u pogledu zaštite ljudi i dobara od požara

Na razini države postoje statistički podaci o učestalosti požara, materijalnim štetama i izgubljenim ljudskim životima. Iz tih se podataka ne može razabrati koji se dio od tih požara i s kakvim posljedicama događa u ruralnim naseljima bez javne vodoopskrbe.

Isto je tako nepoznato koliko smanjenju rizika u ruralnim sredinama doprinosi po Pravilniku izvedena hidrantska mreža. Za sva pitanja, trebalo bi napraviti istraživanja na temelju realnih podataka.

Ono što se može dedukcijom dokučiti je činjenica da se u državi u pravilu primjenjuje individualni način razdvojene izgradnje i zidane konstrukcije. Najčešće stradaju gospodarski objekti (sjenici, staje, ambari) mješovite izgradnje od drva i opeke. Ovi objekti imaju velika požarna opterećenja i obično izgore prije dolaska vatrogasne jedinice. Zgrade za stanovanje su odvojene i mala je vjerojatnost prijenosa požara na susjedne zgrade ili cijelo naselje.

Naselja uz more ugrožena su prije svega širenjem šumskih požara u kojem klasično gašenje s hidrantske mreže praktično ne dolazi u obzir zbog naglog širenja i velikih površina zahvaćenih požarom.

U svakom slučaju, izgradnjom javne vodoopskrbe s količina potrebnim samo za vodoopskrbu, neće se povećati rizici od šteta od požara. Naprotiv, oni će se nešto smanjiti.

2.3.3. Alternativna rješenja za gašenje požara

U našoj je državi dobro razvijena mreža vatrogasnih postrojbi, profesionalnih i dobrovoljnih. Te postrojbe raspolažu s tehničkim sredstvima od kojih su najvažnija samohodna navalna vozila koja imaju mogućnost autonomnog rada na gašenju, jer raspolažu rezervoarskim prostorom i crpkama za postizanja potrebnog tlaka. Manje požare u stanju su

ugasiti, bez potrebe za dodatnom vodom.

Temeljni problem u gašenju požara vodom je osiguranje dovoljne količine i tlaka. Dovoljna količina može se osigurati izgradnjom vodospremnika u samom naselju, na koje će se priključiti vatrogasna vozila. Postoje mogućnosti nabave gotovih spremnika od plastike, čeličnog lima ili izgradnja spremnika od armiranog betona, zemljanih laguna. Spremnici se mogu puniti zahvaćanjem oborina ili punjenjem iz vodovodne mreže. Vatrogasna vozila i drugi vatrogasni uređaji raspolažu crpkama za podizanje tlaka. Te crpke mogu biti pokretne ili ugrađene na lokaciji spremnika vode za gašenje.

Vrlo učinkovita je borba protiv požara sa priručnim sredstvima u domaćinstvu (prijenosni aparati za gašenje požara, senzori za otkrivanje požara), jer se gotovo svaki požar može ugasiti u samom začetku nastanka. Prava je šteta što posjedovanje takvih uređaja u domaćinstvima nije propisano zakonom.

Na temelju podataka kojima ovaj rad raspolaže, ne može se zaključiti o razini rizika pojave požara, razmjeru materijalnih šteta i ugroze zdravlja stanovnika malih ruralnih naselja sa izgrađenom hidrantskom mrežom ili bez nje, ali je sasvim sigurno da se izgradnjom vodoopskrbnih sustava koji zadovoljavaju samo vodoopskrbu, rizici neće povećati.

2.4. Neka svjetska iskustva i prijedlog mjera

U Velikoj Britaniji se način osiguranja vode za gašenje požara provodi kroz suradnju tvrtki koje se bave vodoopskrbom i vatrogasnih službi, na razini lokalne zajednice. Osiguranje vode za gašenje požara zahtjeva pažljivo planiranje koje ne ustanovljava samo potrebe, već prepoznaje izvore vode bilo da su iz javne vodoopskrbe ili drugih izvora i potom osigurava dostupnost u slučaju požara (LGA i Water UK, 2002). Isto se tako zajednički procjenjuju rizici od požara i potrebne količine vode koje iz procjene proizlaze.

U priručniku Američkog društva za vodoopskrbu (AWWA, 1998) stoji da odluku o tome hoće li se vodoopskrbni sustav dimenzionirati i za potrebe gašenja požara, donosi nadležno tijelo lokalne uprave u zajednici s vlasnikom tvrtke za vodoopskrbu.

U praksi gašenja požara u SAD postoji poseban dio koji se odnosi na ruralna područja i pojedinačne objekte (NFPA 1142, 1999). Pored standarda koji propisuju količine, dopušta se vrlo veliki broj mogućnosti osiguranja tih količina iz izvora, ovisnih o lokalnim mogućnostima. Postoji niz priručnika u kojima su opisani tehnički načini osiguranja alternativnih izvora vode za gašenje požara.

Dokazi koji su izneseni u ovom radu na račun odvajanja zaštite od požara od vodoopskrbe stanovništva u ruralnim naseljima, trebali bi biti dovoljni da se po tom pitanju donesu odgovarajuće odluke. Ako isti nisu dostatni, mogu se zatražiti dodatna istraživanja i analize. To se prije svega odnosi na procjenu vjerojatnosti pojave požara i rizika od negativnih posljedica.

S nadležnim ministarstvom Unutarnjih poslova, trebalo bi dogovoriti slijed postupaka u kojem bi se postojećem Pravilniku, dodali članci koji bi dozvoljavali predložena rješenja. Trebalo bi jasno navesti u kojim slučajevima i pod kojim uvjetima se dozvoljava razdvajanje vodoopskrbe od gašenja požara. Naravno da bi investitori mogli shodno svojoj procjeni, ekonomskom potencijalu, odlučiti drugačije, odnosno primijeniti odredbe Pravilnika onako kako se sad primjenjuju.

ZAKLJUČAK

Primjena Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara u malim ruralnim naseljima znatno poskupljuje troškove građenja, pogona i održavanja javnih vodoopskrbnih sustava. Troškovi građenja su 40-50% niži, ako se pravilnik ne primjeni na naselja ili dijelove općina koji ne sadrže javne sadržaje.

Ako bi se prihvatio prijedlog i gašenje požara za takva naselja razdvojilo od vodoopskrbe, mogla bi se uštedjeti znatna sredstva i preusmjeriti prema projektima smanjenja gubitaka, ili općenito smanjiti teret investicija lokalnih jedinica samouprave i uprave.

Pritom se ne bi povećao rizik od pojave požara i njegovih negativnih posljedica, odnosno bi se isti mogao smanjiti na prihvatljivu mjeru rješavanjem zaštite od požara alternativnim postupcima.

LITERATURA

[1] AWWA, (1998): *Manual M31 -Distribution System Requirements for Fire Protection*, The American Water Works Association.

[2] Državni zavod za javno zdravstvo (DZJZ), 2008.: *Analiza malih vodoopskrbnih sustava na području RH koji nisu uključeni u sustave javne vodoopskrbe*, Zagreb, 2008.

[3] Franjić, M, (2010): *Istraživanje zakonitosti vodoopskrbe na vodoopskrbnom sustavu općine Hum na Sutli*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

[4] Grljak, A, (2010): *Idejni projekt opskrbe vodom visoke zone općine Desinić*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

[5] Hrvatske vode (2009): *Strategija upravljanja vodama,* Hrvatske vode, Zagreb.

[6] Kvartuč, I, (2011), *Istraživanje zakonitosti troškova vodoopskrbe na vodoopskrbnom sustavu općine Hum na Sutli*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

[7] LGA i Water UK, (2002): *National guidance document on the provision of water for fire fighting*, Local Government Association and Water UK.

[8] Mudrić, H, (2010): *Gubici vode vodoopskrbnim sustavima*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

[9] NFPA 1142, (1999): *Standard on Water Supplies for Suburban and Rural Fire Fighting*, National Fire Protection Association.

AUTORI

prof. dr. sc. Davor Malus [a]

dr. sc. Dražen Vouk [b]

[a] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Fra Kačića – Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, malus@grad.hr

[b] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Fra Kačića – Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, dvouk@grad.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.09.

MOGUĆNOSTI ORGANIZACIJE VODOOPSKRBE PREMA SMJERNICAMA STRATEGIJE UPRAVLJANJA VODAMA U ŠIBENSKO – KNINSKOJ ŽUPANIJI

Renata Vidaković Šutić, Mirjana Švonja, Toni Carević

SAŽETAK: Županijski vodoopskrbni planovi imaju zadatak zacrtati osnove razvoja vodoopskrbe u planskom razdoblju uvažavajući cijeli niz značajki i specifičnosti određenog područja. Smjernice iz Strategije upravljanja vodama upućuju na tehničke, tehnološke i organizacijske postupke, koji za krajnji cilj imaju organizaciju djelatnosti javne vodoopskrbe s vrlo jasno određenim ekonomsko – financijskim efektima.

Potrebe za vodom, u velikoj su mjeri povezane s gospodarskim i društvenim razvojem, kao i demografskim trendovima. Tako u Šibensko – kninskoj županiji najveće potrebe za vodom iskazuje turistički razvijenije priobalno područje, s rastućim infrastrukturnim potrebama, za razliku od područja u unutrašnjosti županije gdje je prisutna velika disperzija naselja s malim brojem potrošača. Priobalno područje bilježi gospodarski i demografski rast, a područja u unutrašnjosti županije, osobito područja od posebne državne skrbi, istovremeno bilježe pad broja radno sposobnog stanovništva. Prisutne su velike razlike i u tehničko tehnološkoj razini operativnog upravljanja vodoopskrbom između postojećih komunalnih poduzeća.

U takvim uvjetima, planiranje provedbe reformske racionalizacije komunalnog sektora, sukladno ciljevima i odrednicama Strategije upravljanja vodama, zahtjeva multidisciplinarni pristup, te pažljivo i realno definiranje faza realizacije.

KLJUČNE RIJEČI: Šibensko – kninska županija, Strategija upravljanja vodama, Vodoopskrbni plan, organizacija vodoopskrbe

ORGANISATION POSIBILITIES OF WATER SUPPLY SERVICES IN ŠIBENIK-KNIN COUNTY ACCORDING TO STRATEGY OF WATER MANAGEMENT

SUMMARY: Objective of County Water Supply Plan is to make a development frame for planning period, accepting number of regional characteristics. The *Strategy of Water Management* also indicates technical and technological procedures which will bring organizational improvement of water supply service in respect of economical and financial effects.

Needs for water are related to regional economy, social and demographical development. In Šibenik – Knin County, the largest needs for water are related to coastal area of County because of increasing tourism and supporting infrastructure. This part of County records economic growth and increasing demographical trend. Continental part of County is characterized by dispersion of settlements with small number of consumers, related to population drain, especially in Special Care Areas.

According to these conditions, as well as the guidance of *Strategy of Water Management*, reform of communal sector requires multidisciplinary approach and careful planning.

KEYWORDS: Šibenik – Knin County, Strategy of Water Management. Water Supply Plan, Organization of Water Supply Services

1. UVOD

Prema Strategiji upravljanja vodama (NN 91/08) unaprijeđenje upravljanja javnim vodoopskrbnim sustavima postiže se: određivanjem distribucijskih područja, povezivanjem vodoopskrbnih sustava u regionalne sustave, ekonomskom cijenom vode, te smanjenjem gubitaka vode iz javnih vodoopskrbnih sustava. Ključno pitanje vezano uz javnu vodoopskrbu je određivanje distribucijskih područja kao tehničko-ekonomskih cjelina. Radi povećanja učinkovitosti i ponegdje ograničenih kapaciteta postojećih izvorišta, nužno je postojeće i nove sustave okrupnjavati u regionalne, s mogućnošću dopreme vode iz više smjerova, bez obzira na administrativne granice. Okrupnjavanjem, odnosno tehničkim povezivanjem postojećih i budućih sustava tamo gdje je to ekonomski opravdano, riješiti će se niz sadašnjih problema vezanih uz neracionalno funkcioniranje manjih sustava, količinsku nesigurnost opskrbe vodom, diskontinuitet opskrbe, nezadovoljavajuću kakvoću vode i loše pogonske uvjete čime će se povećati opća učinkovitost javne vodoopskrbe. Današnja, pretežno socijalna politika cijene vode, sustavno donosi gubitke komunalnim društvima i usporava ili onemogućava njihovo održavanje i daljnji razvitak. Neophodno je postupno uvođenje ekonomske cijene vode koja će pokrivati stvarne troškove, uz poštivanje načela „potrošač plaća“. Kako bi se do 2015. godine ostvarila ekonomska cijena vode koja će prema očekivanjima bit znatno veća od trenutačne, potrebno je započeti s postupnim procesom usklađivanja tarifne politike.

Drugim riječima, neophodno je predvidjeti dovoljno dugo prijelazno razdoblje da bi se ovakve mjere mogle provesti u praksi. Treba istaknuti da će se tehnološkom integracijom sustava i uspostavom distribucijskih područja s jedinstvenom cijenom vode lakše uvesti ekonomska cijena vode.

Smanjenje gubitaka vode je izuzetno važna, trajna zadaća komunalnog gospodarstva. Kako bi se povećala održivost postojećih zahvata vode, neophodno je postupno smanjivati gubitke na prihvatljive vrijednosti (20%), po uzoru na razvijene europske zemlje koje imaju strože kriterije (7-15%). Time bi se dobile značajne dodatne količine vode i smanjile potrebe za novim količinama i izvorištima vode, čime bi se utjecalo na racionalnost korištenja vodnih resursa i smanjenja količine prerađene vode, koja u sadašnjem stanju gubitaka u sustavima, samo dijelom dolazi do potrošača.

Županijski vodoopskrbni planovi imaju zadatak zacrtati osnove razvoja vodoopskrbe u planskom razdoblju uvažavajući cijeli niz značajki i specifičnosti određenog područja. Plan vodoopskrbe županije je dokument koji treba biti usklađen sa važećom strateškom

i planskom dokumentacijom vodnogospodarskog sektora kao i strateškom i planskom dokumentacijom drugih sektora vezano za društveni i gospodarski razvoj županije.

2. OSNOVNI PODACI O ŠIBENSKO-KNINSKOJ ŽUPANIJI

Teritorij Šibensko-kninske županije predstavlja 5,29% kopnenog teritorija države dok njezin broj stanovnika čini svega 3,19% ukupnog stanovništva Republike Hrvatske. Šibensko-kninska županija je slabije naseljena i njezina gustoća naseljenosti je oko 60% prosječne gustoće naseljenosti Republike Hrvatske. Prema službenom popisu iz 1991. godine na tom je teritoriju živjelo 152.477 stalnih stanovnika. Unutar Šibensko-kninske županije prema površini je najveći zagorski prostor, ali slabo naseljen, dok je primorski prostor dug, uzak, razveden i najnaseljeniji. Najmanji je otočni prostor s nekoliko skupina srednjih i manjih otoka i sa sve manje stanovnika. Kninska zagora je površinski nešto veća od Primorja, najnaseljenijeg područja, dok je najmanje područje Drniške zagore, prema površini, prema broju stanovnika i prema prosječnoj gustoći naseljenosti.

PROSTORNA CJELINA		BROJ STANOVNIKA prema popisu 1991. godine	POVRŠINA km^2	GUSTOĆA $st./km^2$	BROJ NASELJA
KONTINENTALNO PODRUČJE	DRNIŠKA ZAGORA	24.169	842,41	28,69	63
	KNINSKA ZAGORA	43.306	1.105,41	39,17	43
PRIMORJE	OBALNO I OTOČNO PODRUČJE, ZAOBALNI PROSTOR	85.002	1.045,90	81,27	90
ŽUPANIJA UKUPNO		**152.477**	**2.993,72**	**50,93**	**196**

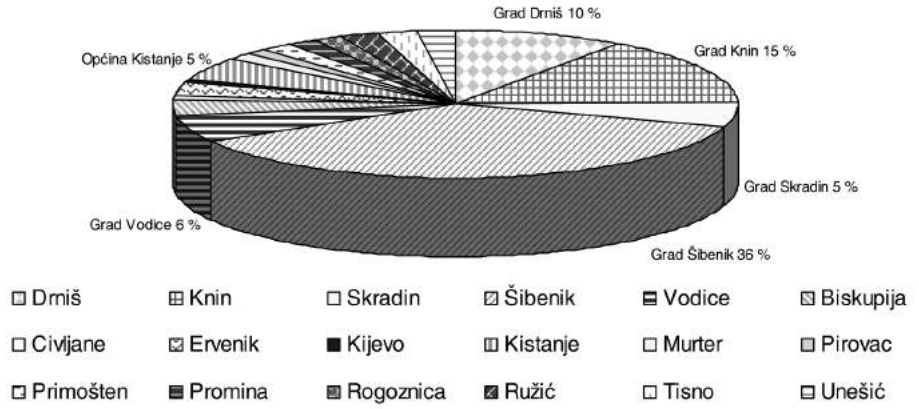
Tablica1. Razmještaj stanovnika, površine i naselja po prostornim cjelinama u Županiji

Temeljem administrativne organizacije Šibensko-kninske županije, u pet gradova i 13 općina, kao jedinica lokalne samouprave, nalazi se 196 samostalnih naselja i znatno veći broj zaselaka. Prema statističkim pokazateljima Državnog zavoda za statistiku iz 2001. godine, uočava se trend smanjenja populacije u unutrašnjosti županije zbog migracije radno aktivnog stanovništva u gradove, naročito Šibenik i gradove uz obalu, zbog boljih uvjeta zapošljavanja i življenja (slike 1. i 2.).

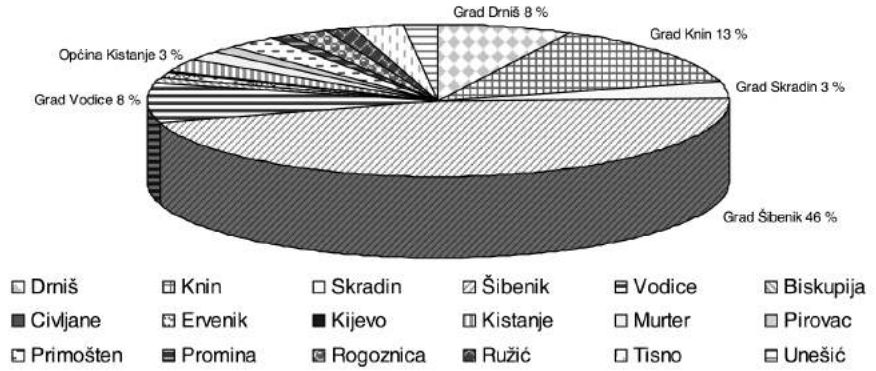
Šibensko-kninska županija područje je izraženih razlika u gospodarskoj razvijenosti između obalnog i drugih područja. Gospodarski najaktivnija područja preklapaju se s turističkim zonama. Zahvaljujući prirodnim resursima, uvjeti za daljnji razvoj turizma su povoljni kako u primorju tako i u unutrašnjosti, posebno na širem području Nacionalnih parkova Kornati i Krka. Poljoprivredna proizvodnja ograničena je na poljodjelsku aktivnost na područjima krških polja i ekstenzivno stočarstvo. Na poljoprivredne površine otpada 12,08% (36170 ha) područja Županije. Izrazita neravnomjernost potreba za vodom najznačajnija je karakteristika vodoopskrbe u Županiji.

Zaostajanje u gospodarskom, socijalnom, demografskom i ukupnom razvoju područja posebne državne skrbi rezultat je brojnih čimbenika i njihovog vrlo zamršenog međusobnog utjecaja. Ratna razaranja te snažne socijalne i gospodarske posljedice okupacije ostavile su trajne posljedice na pojedina područja Županije. Područja od posebne državne skrbi razvrstana su u tri skupine; prva i druga skupina prema okolnostima nas-

talima na temelju posljedica agresije na Hrvatsku, a treća skupina prema tri kriterija: kriteriju ekonomske razvijenosti, kriteriju strukturnih teškoća i demografskom kriteriju. U tablici 2. navedena su područja od posebne državne skrbi u Šibensko-kninskoj županiji. Iz navedenih podataka vidljivo je da područja od posebne državne skrbi (sve tri skupine) zauzimaju 72% površine Županije, a obuhvaćaju 64% naselja i gotovo polovicu ukupnog broja stanovnika.



Slika 1. Raspodjela stanovnika Šibensko-kninske županije
po gradovima/općinama 1991.



Slika 2. Raspodjela stanovnika Šibensko-kninske županije
po gradovima/općinama 2001.

Grad / Općina	naselja		broj stanovnika		površina	
	broj	%	broj	%	km^2	%
Drniš	27	13,8	14.647	9,6	355,27	11,9
Knin	13	6,6	23.025	15,1	358,12	12,0
Skradin	21	10,7	8.027	5,3	186,79	6,2
Šibenik	33	16,8	55.842	36,6	433,15	14,5
Vodice	9	4,6	8.867	5,8	109,15	3,6
Biskupija	8	4,1	5.417	3,5	133,45	4,4
Civljane	2	1,0	1.672	1,1	83,28	2,8
Ervenik	5	2,6	4.115	2,7	212,08	7,1
Kijevo	1	0,5	1.261	0,8	74,37	2,5
Kistanje	14	7,1	7.816	5,1	244,11	8,1
Murter	2	1,0	2.013	1,3	81,08	2,7
Pirovac	3	1,5	1.785	1,2	40,97	1,4
Primošten	7	3,6	2.956	1,9	57,18	1,9
Promina	11	5,6	2.660	1,7	139,41	4,7
Rogoznica	10	5,1	2.138	1,4	70,55	2,4
Ružić	9	4,6	3.355	2,2	160,28	5,3
Tisno	5	2,6	3.374	2,2	67,03	2,2
Unešić	16	8,2	3.507	2,3	187,45	6,3
Županija ukupno	**196**	**100**	**152.477**	**100**	**2.993,73**	**100**
Područja posebne državne skrbi	**127**	**64**	**75.502**	**49,5**	**2.167,61**	**72**

I skupina II skupina III skupina

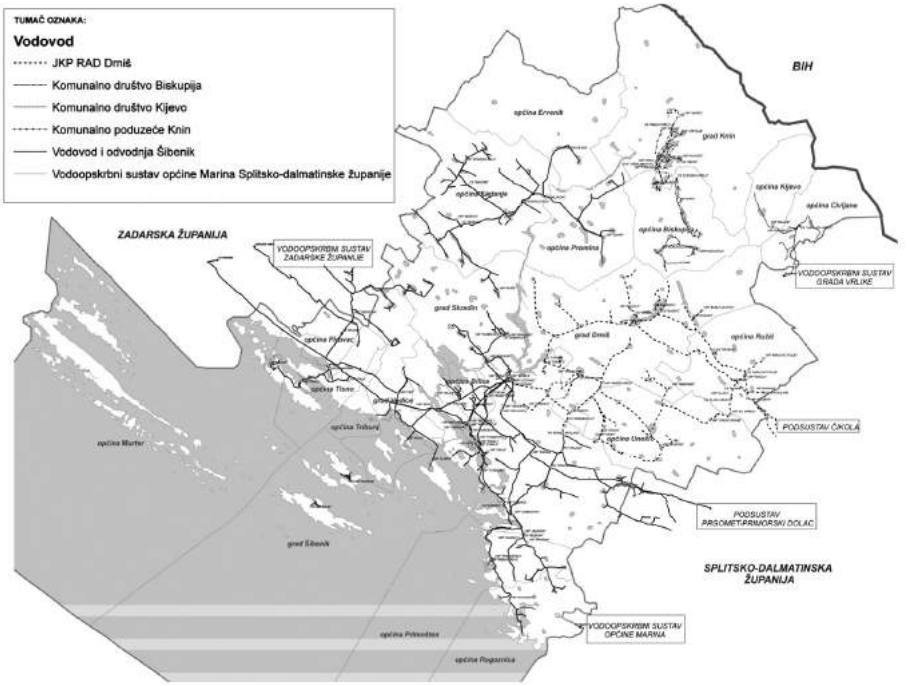
Tablica 2. Područja od posebne državne skrbi u Šibensko-kninskoj županiji

3. POSTOJEĆE STANJE VODOOPSKRBE

Javna vodoopskrba na području Šibensko-kninske županije organizirana je u 5 vodopskrbnih sustava kojima upravljaju komunalna društva: *Vodovod i odvodnja d.o.o*. Šibenik, *Rad d.o.o.* Drniš, *Komunalno poduzeće d.o.o*. Knin, *Komunalno društvo „Biskupija" d.o.o.,* Biskupija i *Komunalno društvo „Kijevo" d.o.o.* iz Kijeva.

Najveći i najznačajniji je vodoopskrbni sustav grada Šibenika, dok su vodoopskrbni sustavi u ostalim područjima županije (unutrašnjost) manji, kako prema broju potrošača i razvijenosti vodoopskrbne mreže, tako i prema tehničko-tehnološkoj opremljenosti (slika 3). Naseljenost u tom području je slabija, s velikom disperzijom naselja i malim brojem potrošača.

Iako postojeći sustavi danas imaju relativno veliku pokrivenost područja županije (cca 90%), preostalih 10% potrošača još uvijek nije priključeno na sustav javne vodoopskrbe. To se odnosi prije svega na područje grada Skradina i općine Unešić, gdje još postoji određen broj potrošača za koje je u planu rješenje vodoopskrbe u narednom razdoblju, dok se za ostala neopskrbljena područja (neka naselja u sastavu grada Knina, općina Ervenik) s obzirom na demografske pokazatelje opravdano postavlja pitanje ekonomske isplativosti.



Slika 3. Postojeće stanje vodoopskrbe u Šibensko-kninskoj županiji

Potrebno je naglasiti da je najveći i tehnološki najrazvijeniji, te po funkcioniranju kao cjelina, najznačajniji vodoopskrbni sustav Šibenika, pa se i budućnosti računa na taj sustav kao okosnicu vodoopskrbe Županije i regije.

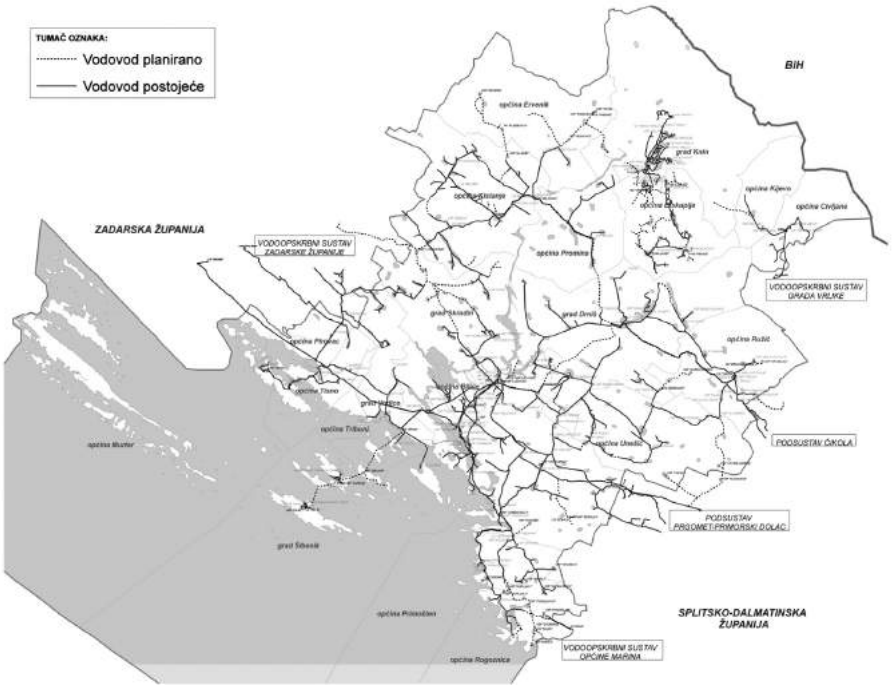
U današnjem stanju, razgranatost šibenskog vodoopskrbnog sustava omogućila je povezanost sa Zadarskom županijom na sjeverozapadu obalnog područja Županije, a na jugoistoku sa Splitsko-dalmatinskom županijom, s napomenom da se u oba slučaja radi o izvozu vode u susjedne županije.

Problematika sadašnjeg stanja vodoopskrbe u Šibensko – kninskoj županiji može se grupirati u sljedeće osnovne skupine:

- Postojanje neopskrbljenih područja;
- Gubici vode u sustavima ;
- Provođenje zaštite vodnih resursa.

4. RAZVOJ VODOOPSKRBE U RAZDOBLJU DO 2025. GODINE

Do danas neopskrbljena područja u Šibensko – kninskoj županiji uglavnom su vrlo slabo naseljena, a od područja na kojem postoji organizirana vodoopskrba, najlošije stanje vodoopskrbe bilježi se u općini Kijevo, gdje se 20% stalnog stanovništva pitkom vodom snabdjeva autocisternama, te u općini Kistanje gdje naplata isporučene vode ne prelazi 30%. U tom je području prioritet osigurati opskrbljenost pitkom vodom domicilnog stanovništva, te postupno sanirati i modernizirati mrežu i upravljanje sustavima.



Slika 4. Planirani razvoj voodoopskrbe u Šibensko-kninskoj županiji

S obzirom na stupanj izgrađenosti i veliku zonu opskrbe Šibenskog vodoopskrbnog sustava, u planskom razdoblju potrebno je veliku pozornost posvetiti smanjenju gubitaka iz vodoopskrbne mreže putem sanacije dotrajalih cjevovoda, ugradnjom cjevovoda i armatura visoke kvalitete, povećanjem broja mjernih točaka sustava, optimizacijom tlakova u mreži i eliminacijom „crne“ potrošnje (ilegalni priključci, krađa vode).

Vodoopskrbni sustavi u ostalim područjima županije manji su, s obzirom na broj potrošača i razvijenost vodoopskrbne mreže, tehnološki slabije opremljeni, s visokim gubicima vode iz mreže. Naseljenost u tom području je slabija, s velikom disperzijom naselja i malim brojem potrošača, s iznimkom grada Knina koji u nekoliko proteklih godina bilježi rast mlađeg, radno sposobnog stanovništva, ali zbog gospodarske situacije teško je očekivati nastavak trenutnog demografskog trenda.

Aktivnosti koje slijede u planskom razdoblju mogu se grupirati u sljedeće skupine:

- Izgradnja nedostajućih kapaciteta za vodoopskrbu s ciljem što veće opskrbljenosti na razini Županije;
- Hidrogeološka istraživanja u svrhu definiranja raspoloživih količina na izvorištima, te na područjima koja nisu do sada u dovoljnoj mjeri istražena, uz utvrđivanje rezervi podzemne vode;
- Uspostava monitoringa razina podzemne vode na priljevnim područjima izvorišta;
- Optimizacija rada vodoopskrbnih sustava putem racionalnijeg korištenja postojećih resursa i izgrađenih vodoopskrbnih sustava.

Postojeći vodni resursi Županije su dostatni za vodoopskrbu za plansko razdoblje do 2025.

godine, ali obzirom na strategiju gospodarskog razvoja županije, potrebno je pažljivo uskladiti različite razvojne planove koji u naravi aspiriraju na iste vodne resurse.

Integracija postojećih vodoopskrbnih sustava u cilju uspostavljanja uslužnih područja, sukladno Strategiji upravljanja vodama, može se razmatrati na razini upravljanja sustavima, dok se na razini povezivanja u tehničkom smislu iz razloga racionalnosti korištenja, u planskom razdoblju do 2025. ne predviđa.

5. PROBLEMATIKA ORGANIZACIJE VODOOPSKRBE U ŠIBENSKO-KNINSKOJ ŽUPANIJI PREMA SMJERNICAMA STRATEGIJE UPRAVLJANJA VODAMA

Uvažavajući specifičnosti Šibensko-kninske županije, planiranje provedbe reformske racionalizacije komunalnog sektora, sukladno ciljevima i odrednicama Strategije upravljanja vodama, zahtjeva multidisciplinarni pristup, te pažljivo i realno definiranje faza realizacije. Na razini izrade Plana vodoopskrbe sagledane su realne teškoće u provedbi, a koje su u najvećoj mjeri vezane za tešku gospodarsku situaciju u državi, a time i u Županiji, čime najslabija karika u sustavu postaje stanovništvo, odnosno dio potrošača vode. Socijalna kategorija cijene vode za dio potrošača koja je u sadašnjem stanju realnost, zbog aktualnog trenda rasta gospodarstva ne može se u skorije vrijeme korigirati, stoga 2015. godina za postizanje ekonomske cijene vode postaje nerealna. Potrebno je naglasiti da je za postizanje ekonomske cijene vode neophodan preduvjet jedinstvena cijena vode na uslužnom području, a za uspostavu uslužnih područja na razini Županije potrebno je provesti niz aktivnosti kako tehničkih, tako i organizacijskih, što dodatno potvrđuje nerealan vremenski okvir u slučaju Šibensko-kninske županije.

Tehničko i organizacijsko povezivanje postojećih vodoopskrbnih sustava realno je i opravdano u slučaju povezivanja sustava Šibenika i Drniša, dok je povezivanje vodoopskrbnih sustava Knina i Biskupije realno u organizacijskom smislu. Vodoopskrbni sustav Kijevo u organizacijskom smislu i distribucijskoj ulozi gravitira području Vrlike u Splitsko-dalmatinskoj županiji.

Geografski i prometno uvjetovan središnji položaj Šibensko-kninske županije, kao i raspoloživi vodni resursi, već su u sadašnjem stanju ostvarili povezanost sa vodoopskrbnim sustavima drugih područja u Zadarskoj i Splitsko-dalmatinskoj županiji, s naglaskom da je upravo Šibensko-kninska županija alternativni pravac opskrbe za obje susjedne županije. Ta činjenica predstavlja prednost u ekonomsko-financijskom smislu za buduće razdoblje i ujedno obvezuje na učinkovitu zaštitu vodnih resursa.

Iako su sezonske oscilacije potrošnje vode (odnos zimske i ljetne potrošnje) najizraženije u vodoopskrbnom sustavu grada Šibenika koji pokriva najveći dio priobalnog područja, količinska nesigurnost na razini Županije za sada ne predstavlja veći problem ukoliko se kakvoća zadrži na sadašnjoj razini.

Smanjenje gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava do razine 20% predstavlja krajnji cilj i podrazumijeva prethodno provođenje niza postupaka i mjera kojima se postupno, u dužem vremenskom razdoblju postižu uštede. To su: sanacija dotrajalih dijelova sustava vodoopskrbe, poboljšanje monitoringa uvođenjem mjernih mjesta i uspostava nadzorno upravljačkog sustava (NUS). Stoga je nužno i realno postaviti određeni vremenski okvir za realizaciju navedenih mjera, a za postizanje smanjenja gubitaka na zahtjevanu razinu

u odnosu na sadašnje stanje nije moguće predvidjeti rok.

Nepovoljni pogonski uvjeti prisutni su na dijelovima vodoopskrbne mreže, a potrebno ih je rješavati u okviru programa smanjenja gubitaka sustava.

Poticanje mjera racionalnije (štedljivije) potrošnje vode putem obrazovanja, stručnih predavanja i medija, zahtjeva znatno manja financijska ulaganja od tehničkih mjera i može započeti (gotovo) bez prethodnih aktivnosti, s napomenom da je treba kontinuirano provoditi kroz dulje vremensko razdoblje.

Sukladno navedenom, planirano vrijeme za provedbu pojedinih faza razvoja vodoopskrbe potrebno je produžiti u realnim okvirima.

6. SMJERNICE ZA RJEŠAVANJE PROBLEMA

Zbog složenosti opisane vodoopskrbne problematike u Šibensko-kninskoj županiji, a u cilju poboljšanja planiranja potrebnih mjera i zahvata, naročito je potrebno sagledati problem gubitaka vode suvremenijim pristupom:

- Napuštanjem klasičnog pristupa iskazivanju gubitaka kroz omjer isporučenih i zahvaćenih količina vode, odnosno primjenom prikaza energetskih gubitaka sustava (kWh godišnje ili kWh/m^3), što pridonosi lakšem definiranju smjera djelovanja po pitanju sanacije gubitaka, jer prvo treba sanirati one gubitke koji su opterećeni najvećim iznosom energije/m^3. Pored navedenih indikatora, u primjenu treba postupno uvoditi druge (PI), sve u svrhu boljeg opisivanja stanja gubitaka.
- Provođenjem analize kvarova na cjevovodima, po kriteriju starosti i materijala, u cilju utvrđivanja prioriteta sanacije. Utvrđene kvarove treba iskazati u apsolutnom i što je još važnije relativnom odnosu, kako bi se izdvojili cjevovodi od materijala koje je potrebno prve zamijeniti (polietilen).
- Izdvajanjemi i iskazivanjem pokazatelja o vodospremničkom prostoru na području županije i načinu na koji se koristi. Taj pokazatelj u Šibensko-kninskoj županiji ukazuju na iznimnu predimenzioniranost vodospremničkog prostora.
- Analizom rada crpki, kako bi se ukazalo na činjenicu da se vodospremnički prostor ne koristi optimalno, odnosno da neke crpke rade nepotrebno u visokoj tarifi, tako da prostora za daljnju optimalizaciju sustava po tom pitanju zasigurno ima.
- Uvođenjem nadzorno-upravljačkog sustava (NUS) kao nužnog (ali ne i dovoljnog) alata za kontrolu gubitaka i optimalno gospodarenje sustavom.

Temeljem provedene procjene potreba za vodom, definirani su modaliteti rješenja za osiguranje dostatnih količina, pri čemu su analizirane prednosti i mane pojedinih varijanti rješenja. Utvrđeno je da je kaptiranje novih vodozahvata iznimno skupo (zahvat u Visovačkom jezeru), te da izgradnja dugih cjevovoda (Miljacka) također nije baš najprihvatljivije rješenje za naredno plansko razdoblje. Navedene analize su vodile do zaključka da treba koristiti „prikrivene“ resurse, odnosno gubitke vode iz sustava, u kombinaciji sa rješenjima povezivanja i dovoda vode iz drugih sustava (Čikola) na način da se maksimalno koristi postojeća infrastruktura, odnosno da se izbjegava gradnja novih cjevovoda, koji bi dobar dio godine bili „mrtav kapital“. Ovdje je bitno spomenuti važnost provedenih vodoistražnih radova na izvoru Čikole, koji su pokazali da se cca. 50 l/s u ovome trenutku može „izvoziti“ prema drugim sustavima (Šibenik) i to praktički sa minimalnim ulaganjem, maksimalnim korištenjem postojeće vodovodne infrastrukture (Čikola-Run-

jevica-Torak-Pokrovnik), pri čemu se vodilo računa i o minimiziranju pogonskih (energetskih) troškova. U planskom razdoblju dužnu pozornost treba posvetiti kontinuiranom provođenju vodoistražnih radova, jer se stanje spoznaja o količinama i raspoloživosti podzemnih voda ocjenjuje nedostatnim.

Obzirom da se prema važećem Zakonu o vodama (NN 153/09) veća pažnja posvećuje „komunali" (javnim isporučiteljima vodnih usluga), kao i samim sastavnicama cijene vode, te se utvrđuju mjerila ekonomičnog poslovanja (čl. 206.), može se konstatirati da su provedene analize „otvorile put" daljnjim detaljnijim analizama kojima će se zasigurno utjecati na optimalno korištenje vodnih resursa kao i na upravljanje sustavom, što bi za posljedicu trebalo imati znatno ekonomičnije poslovanje.

Organizacija vodoopskrbe sukladno smjernicama Strategije upravljanja vodama u Šibensko-kninskoj županiji može se u planskom razdoblju do 2025. godine djelomično realizirati, odnosno pravilnim planiranjem mogu se ostvariti preduvjeti za uređenje vodoopskrbne djelatnosti u narednom razdoblju.

LITERATURA

[1] Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. i Inženjersko projektni zavod d.d.(2010): *Plan vodoopskrbe Šibensko-kninske županije*, Zagreb

[2] IWA (2000): *Performans Indicators for Water Supply Services*

[3] IWA (2000): *Losses from Water Supply Systems; Standard Terminology and Recommended Performance Measures*

[4] Louis Berger S.A. (2005.): *Master & Marketing plan turizma Šibensko-kninske županije*

[5] *Strategija upravljanja vodama* (NN 91/08)

[6] *Strategija razvitka RH* (NN 108/03)

[7] Šibensko-kninska županija: *Regionalni operativni program Šibensko-kninske županije 2004-2010.*

[8] *Zakon o prostornom uređenju i gradnji* (NN 76/07)

[9] *Zakon o vodama* (NN 153/09)

AUTORI

Renata Vidaković Šutić, dipl. ing. građ a
mr. sc. Mirjana Švonja, dipl. ing. građ b
mr. sc. Toni Carević, dipl. ing. građ b

[a] Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Ulica grada Vukovara 37, Zagreb 10000, Hrvatska renata.sutic@ie-zagreb.hr

[b] Hrvatske vode, VGO Split, Vukovarska 35, Split 21001, Hrvatska, Mirjana.Svonja@voda.hr, Toni.Carevic@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.10.

MODELIRANJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA GRADA KOPRIVNICE

Dražen Vouk, Davor Malus, Ivan Halikjević, Živko Vuković

SAŽETAK: Projektiranje sustava javne vodoopskrbe i njihovo detaljnije razmatranje (primjena različitih mjera unapređenja sustava) zahtjeva korištenje složenih matematičkih algoritama čije je provođenje uz konvencionalne metode gotovo nezamislivo. Stoga se u cilju postizanja zadovoljavajućih rezultata i donošenja kvalitetnih zaključaka primjena matematičkih modela smatra neizostavnom praksom.

Do danas je razvijen veći broj matematičkih modela vodoopskrbnih sustava. Autori ističu prednosti korištenja programskog paketa EPANET, koji je kao potpuno besplatni alat lako dostupan užem i širom stručnom kadru. EPANET omogućava provođenje vremenske simulacije hidrauličkih stanja i kvalitete vode, unutar tlačnog cijevnog sustava (vodoopskrbne mreže).

U radu je prikazan primjer hidrauličke optimalizacije postojećeg sustava vodoopskrbe Grada Koprivnice. Zasebno su razmatrane dvije faze analize problema – definiranje postojećeg i budućeg stanja. Uz definiranje postojećeg stanja opisani su način i rezultati provođenja postupka kalibracije modela. U pogledu analize budućeg stanja, dan je prijedlog mjera unapređenja cjelokupnog sustava i definiranja pojedinih rješenja s ciljem postizanja optimalnih hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja i smanjenja ukupnih gubitaka.

KLJUČNE RIJEČI: vodoopskrba, matematičko modeliranje, EPANET, kalibracija, Koprivnica

MODELING OF WATER SUPPLY SYSTEM OF KOPRIVNICA CITY

SUMMARY: Designing of water supply systems and their detailed analysis (investigation of different improvement steps) require application of complex mathematical algorithms, and which utilisation is complicated by using conventional methods. Therefore, in order to achieve reliable results of hydraulic analysis and proper afterwards decisions, the application of mathematical models is inevitable.

Different mathematical models have been developed so far. In the paper the authors highlights the advantages of the EPANET model utilisation, which is as a freeware tool easily accessible to many users. EPANET enables hydraulic simulation as well as water quality simulations during extended-time period in pressure pipe networks (water supply system).

The paper presents hydraulic optimization of the existing water supply system in the Koprivnica city. Two different water supply systems are separately discussed – development of the existing system and development of the design (future) system. Along the development of the existing water supply system, the process and the results of model calibration are presented. In the analysis of the design (future) system, different improvement schemes for the entire system are presented. The emphasis was on the definition of improved hydraulic conditions inside the pressure pipe network and on the reduction of water losses.
KEY WORDS: water supply, mathematical modeling, EPANET, calibration, Koprivnica

1 UVOD

Projektiranje sustava javne vodoopskrbe i provođenje detaljnijih analiza (hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja, vodnih udara, gubitaka, definiranje odgovarajućih tehničkih rješenja i sl.), i to prvenstveno onih sustava složenijeg karaktera (veliki broj dionica povezanih u prstene, čvorova, precrpnih stanica, vodosprema), gotovo je nezamislivo bez primjene matematičkih (numeričkih) modela koji su u mogućnosti simulirati različita stanja uvažavajući sve osobitosti predmetnog sustava.

U okvirima svjetske prakse, primjenom različitih matematičkih modela napušta se koncept konvencionalnih metoda proračuna i dimenzioniranja vodoopskrbnih sustava koje u praksi izuzetno teško mogu opisati određena hidraulička stanja. Isto tako napušta se i koncept proračuna i dimenzioniranja na temelju trenutnih podataka ili kratkih epizoda već se primjenjuju duža vremenska razdoblja kao ulazne veličine za modeliranje. Isto tako, primjena matematičkih modela pokazala se jednako važnom, neovisno o tome da li se radi o granatim ili prstenastim vodoopskrbnim sustavima.

Današnji trend stroge racionalizacije troškova unutar svakog segmenta društvenog i gospodarskog razvoja, pa tako i u okvirima komunalnog vodnog gospodarstva, rezultira neminovnom potrebom za korištenjem matematičkih modela kod dimenzioniranja i optimalizacije vodoopskrbnih sustava. Problem gubitaka vode, koji je u velikoj mjeri prisutan kod većine vodoopskrbnih sustava teško je zamisliti da bi se mogao uspješno i učinkovito riješiti bez primjene modela. Matematički modeli omogućavaju brzo i jednostavno simuliranje složenih matematičkih problema čije je rješavanje u sklopu konvencionalnog načina nezamislivo.

Dimenzioniranje vodoopskrbnih sustava u okvirima hrvatske inženjerske struke, u sve se većoj mjeri orijentira na matematičko modeliranje iako se može uočiti da se veliki broj raspoloživih mogućnosti različitih modela ne koristi. Shematski prikazi sustava često se pojednostavljuju u smislu smanjenja broja dionice, čvorova i dr. Isto tako u simulacije karakterističnih hidrauličkih stanja ulazi se često bez kalibracije modela na setu mjerenih podataka, kojima bi se potvrdila vjerodostojnost rezultata dobivenih na modelu. Svakako se u cilju definiranja što kvalitetnijih rješenja smatra primjerenim i poželjnim korištenje različitih mogućnosti koje brojni matematički modeli nude, uz prethodnu adekvatnu obradu i pripremu realnih vrijednosti ulaznih veličina.

U sklopu ovog rada prikazati će se jedan primjer hidrauličke optimalizacije postojećeg sustava vodoopskrbe grada Koprivnice, od početnih faza terenskog ispitivanja i adekvatne obrade njihovih rezultata koji će dalje poslužiti za kalibraciju postojećeg stanja sustava,

te naknadne optimalizacije i definiranje budućih rješenja s ciljem smanjenja ukupnih gubitaka.

2 PRIMJENA MATEMATIČKIH MODELA

Izrada matematičkih modela vodoopskrbnih sustava omogućava prikaz realnih hidrauličko-pogonskih stanja unutar cjevovodne mreže. Pod tim se prvenstveno podrazumijeva mogućnost kontrole protoka i tlakova unutar cjevovodne mreže. U današnje vrijeme kompjuterizacije svijeta i široke kompjuterske naobrazbe raspoloživost matematičkih modela i njihova dostupnost, kao i jednostavnost primjene, uvjetuju da bi se svaki drugi oblik cjelovite analize vodoopskrbnih mogao ocijeniti neprihvatljivim.

Do danas su razvijeni brojni matematički modeli vodoopskrbnih sustava uz naglasak da proces njihovog razvoja nije završen, odnosno da se isti konstantno usavršavaju.

Korištenjem matematičkih modela, u velikoj je mjeri olakšan čitav proces proračuna i dimenzioniranja vodoopskrbnih sustava, kako granatih tako i prstenastih, uz prikaz realnih hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja te dodatne mogućnosti ispitivanja velikog broja složenih scenarija s ciljem maksimalne optimalizacije. Složenost problema se odnosi na:

- simuliranje dinamičkih stanja u neograničenom vremenskom periodu,
- ispitivanje različite dinamike potrošnje vode, i to kroz proizvoljni vremenski period (mjesečna, dnevna ili satna neravnomjernost potrošnje), u istom čvoru je moguće definirati više različitih kategorija potrošača s različitim neravnomjernostima potrošnje,
- usporedbu rezultata s različito definiranom dinamikom rada tlačnih jedinica (crpki),
- modeliranje s konstantnim i promjenjivim brzinama crpki (frekvencijom broja okretaja),
- proračun pogonskih troškova pri radu crpki (uz proračun potrebne energije za rad crpki),
- modeliranje utjecaja različitih regulacijskih armatura (zasuna) – zasun za održanje tlaka, zasun za kontrolu protoka i dr.
- modeliranje složenih (višezonskih) sustava s većim brojem vodosprema, gdje je za svaku vodospremu moguće definirati dinamiku punjenja i pražnjenja,
- modeliranje pronosa određenih kemijskih tvari kroz sustav vodoopskrbe (npr. rezidualni klor)
- modeliranje starosti vode
- provođenje analize gubitaka uz integraciju genetskih algoritama i sl.

Modeli između ostalog nude i kvalitetnu grafičku prezentaciju dobivenih rezultata koja olakšava njihov pregled i kontrolu.

Autori ističu prednosti korištenja programskog paketa EPANET. Model je razvila američka agencija za zaštitu okoliša USEPA (eng. Environmental Protection Agency). EPANET je računalni program kojim se provode vremenske simulacije hidrauličkih stanja i kvalitete vode, unutar tlačnog cijevnog sustava (vodoopskrbne mreže). Velika prednost korištenog modela je njegova laka dostupnost. Naime, isti se kao potpuno besplatni alat može slobodno "skinuti" s interneta. Sučelje EPANET-a maksimalno je prilagođeno korisnicima

te je znatno pojednostavljen unos podataka i ubrzan proračun hidrauličkih simulacija. Isto tako, program pruža pregledan prikaz rezultata u različitim oblicima (tablice, grafovi, slikovit prikaz mreže). Rezultati proračuna mogu se prikazati tabelarno i grafički. Moguć je odabir izlaznih veličina koje se žele prikazati. EPANET ne postavlja ograničenja u analiziranju veličine mreže, osim memorije računala. Kod primjene crpnih stanica može se računati s konstantnom ili promjenjivom brzinom okretanja rotora crpki, uz proračun količina utrošene energije tokom vremena, kao i troškova crpljenja (uz zadanu jediničnu cijenu energije). Provedenim simulacijama se mogu zadavati određena ograničenja i razni upiti. Pomoću upita lokaliziraju se mjesta (čvorovi, cijevi) u sustavu kojima je pridružen određeni kriterij (npr. označiti sve čvorove u kojima je vrijednost tlaka ispod 25,0 [m], ili sve cijevi u kojima je brzina veća od 2,0 [m/s]). Bitno svojstvo EPANET-a je mogućnost analiziranja raznih vrsta vodovodnih armatura za kontrolu tlaka i protoka.

Uz EPANET, potrebno je istaknuti i ostale komercijalne modele poput MIKE-URBAN kojeg su razvili stručnjaci na DHI-u, te WATE-CAD i WATER-GEMS kompanije Bentley.

3 MATEMATIČKI MODEL GRADA KOPRIVNICE

3.1 Postojeće stanje

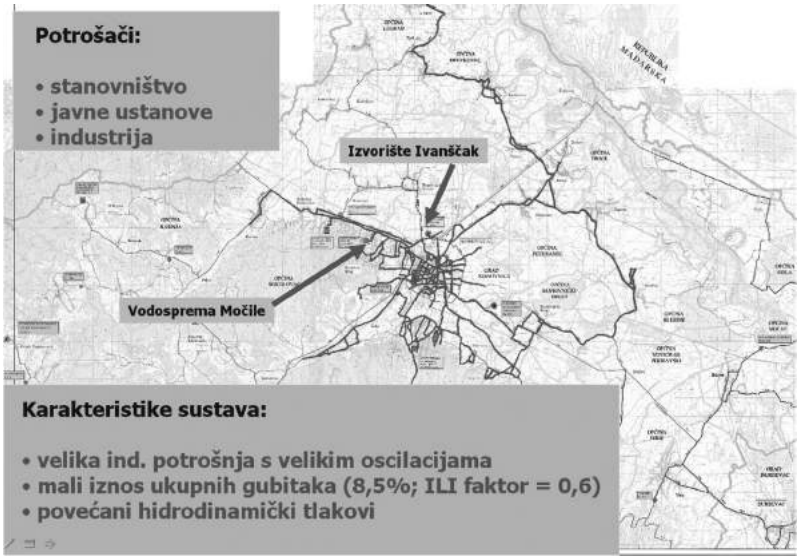
Postojeće stanje opskrbe pitkom vodom na području grada Koprivnice karakterizira složenost cjelokupnog sustava. Složenost sustava proizlazi iz širine obuhvata (veličina sustava), razgranatosti cjevovodne mreže, broju priključaka, ukupne duljine cjevovodne mreže, te većeg broja pripadnih objekata na cjevovodnoj mreži (vodospreme, crpne stanice, regulacijska oprema i dr.). Složenosti cjelokupnog sustava svakako pridonosi i činjenica da je predmetni vodoopskrbni sustava izveden s prstenastim karakterom.

Ukupno se na predmetnom području mogu izdvojiti tri karakteristične skupine potrošača – stanovništvo, industrija i javne ustanove (bolnica i sl.). Uz stanovništvo, u pogledu potrošnje vode, industrija zauzima vodeću ulogu. Industrijsku potrošnju karakteriziraju velike oscilacije unutar kratkih vremenskih perioda, što svakako pridonosi pojavi nepoželjnih stanja unutar cjevovodne mreže, poput vodnih udara koji se šire mrežom i uzrokom su povećanja vjerojatnosti pojave kvarova, gubitaka, te smanjenja životnog vijeka cijevnog materijala.

U postojećem stanju hidrauličko-pogonske uvjete tečenja karakteriziraju izuzetno male količine ukupnih gubitaka unutar sustava. Kvalitetno održavanje uz karakter relativno "mlađeg" sustava svakako pridonose činjenici da su unutar cjevovodne mreže vodoopskrbnog sustava grada Koprivnice generiraju male količine gubitaka.

Međutim, istovremeno se unutar čitavog sustava generiraju povećani hidrodinamički tlakovi, osobito tijekom noćnog režima kojem je svojstvena smanjena potrošnja. Svakako se daljnje održanje pogonskih uvjeta s povećanim tlakovima unutar sustava smatra neodrživim. Stoga je neminovna potreba za provođenjem odgovarajućih mjera unapređenja u sklopu kojih bi se vršile regulacije tlakova na čitavom sustavu. Daljnje održanje povišenih tlakova u sustavu pridonijelo bi povećanju vjerojatnosti pojave kvarova i generiranja većih gubitaka.

U skladu s dosad navedenim, izgradnja optimalnog rješenja cjelovitog sustava javne vodoopskrbe Grada Koprivnice prema predloženim razvojnim planovima, zahtijeva optimalizaciju sustava u smislu postizanja povoljnih hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja unutar cjevovodne mreže u sklopu koje bi se vršila i kontrola tlakova.



Slika 1 Situacija postojećeg stanja sustava javna vodoopskrbe Grada Koprivnice

Pri rješavanju cjelokupne problematike, potrebno je istovremeno uključiti u razmatranja različite faktore. U svakom trenutku potrebno je voditi računa o osiguranju dovoljnih količina pitke vode, odnosno o raspoloživim kapacitetima na postojećem i planiranim izvorištima. Zatim se javlja potreba za odgovarajućim mjerama unapređenja sustava u smislu stalnih kontrola i regulacija tlakova, osobito u noćnom režimu s minimalnom potrošnjom vode. Jednako bitni faktorom smatra se i provođenje stalne kontrole gubitaka. Iako su u postojećem stanju ukupni gubici vode unutar predmetnog vodoopskrbnog sustava zanemarivi, odgovarajućim mjerama i zahvatima potrebno je spriječiti njihovo generiranje. Uz adekvatno održavanje sustava, kontrola tlakova je jedna od najučinkovitijih mjera kontrole gubitaka, sprječavanja njihovog generiranja i smanjenja ukupnih količina. S aspekta postizanja povoljnih pogonskih uvjeta bitnim se smatra i optimalizacija rada tlačnih jedinica na izvorištu Ivanščak s ciljem postizanja odgovarajućih ekonomskih ušteda. U istim nastojanjima javlja se potreba za optimalizacijom rada (kontrola punjenja i pražnjenja) glavne vodospreme Močile.

Veliki nedostatak upravljanja sustavom javne vodoopskrbe Grada Koprivnice, sve do izrade matematičkog modela, može se opisati kao nepoznavanje hidrauličko-pogonskih uvjeta unutar cjevovodne mreže. Dodatno, kod prstenastih vodovodnih mreža, kakva je iz razloga funkcionalne sigurnosti opravdano izvedena u Gradu Koprivnici, i najmanja intervencija, odnosno promjena na mreži (npr. u smislu proširenja, promjene profila, regulacije tlaka i sl.) automatski neminovno uzrokuje preraspodjelu protoka i tlakova unutar cijele vodoopskrbne mreže. Ako se uz navedeno u obzir uzme i potreba za poznavanjem različitih pogonskih stanja uvjetovanih različitom dinamikom potrošnje vode, cjelokupna problematike dodatno dobiva na složenosti. Očigledno je da je konvencionalnim metodama proračuna uz korištenje složenih matematičkih algoritama i funkcijskih odnosa gotovo nezamislivo dobiti prikaz realnih stanja. Drugim riječima, nastojanje za prikazom realnih hidrauličkih stanja zahtjeva korištenje matematičkih modela. Prema tome, sva

buduća projektna rješenja, kao i odgovarajuće mjere unapređenja rada sustava trebale bi se temeljiti na rezultatima dobivenim na matematičkom modelu. Da bi matematički model u zadovoljavajućoj mjeri opisivao buduća stanja i rezultirao kvalitetnim zaključcima i prijedlogom ispravnih rješenja, isti je potrebno kalibrirati u sklopu opisa postojećeg stanja.

3.2 Opis modela postojećeg stanja

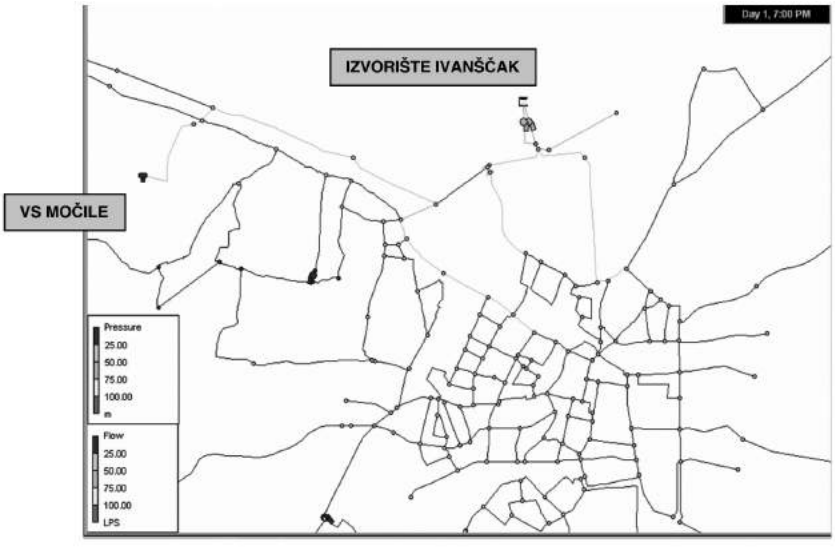
Predmetna analiza obuhvaća izradu matematičkog modela postojećeg stanja izgrađenosti vodoopskrbnog sustava Grada Koprivnice, koji će u naknadnim analizama poslužiti kao osnova za donošenje ispravnih rješenja. Područje obuhvata (cjevovodna mreža) uključeno u model postojećeg stanja prikazano je na Slici 1.

Matematičko modeliranje postojećeg stanja provedeno je u dva osnovna koraka. Prvi korak cjelokupne analize sustavno je orijentiran na definiranje svih ulaznih parametara i puštanje modela u rad. Nakon toga je u sklopu drugog koraka provedena kalibracija modela postojećeg stanja.

3.2.1 Definiranje ulaznih parametara

Matematičkim modelom postojećeg stanja obuhvaćen je veliki broj čvorova, dionica, vodosprema i crpnih stanica. Cjelokupna cjevovodna mreža je u velikoj mjeri detaljizirana, osobito u užem gradskom središtu, a sve sa ciljem ostvarivanja realnih prikaza i postavljanja modela kao osnove za planiranje svih budućih aktivnosti. Ukupno su modelom obuhvaćeni sljedeći elementi:

- 281 čvor
- 378 cijevi, ukupne duljine 200 km
- 3 vodospreme
- 5 crpnih stanica



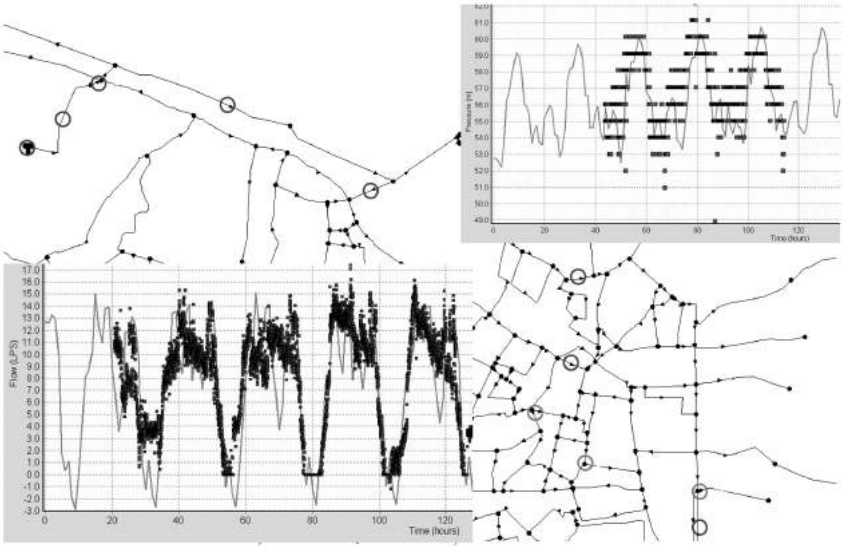
Slika 2 Prikaz detaljiziranog modela za šire gradsko središte Grada Koprivnice

Kako bi se u zadovoljavajućoj mjeri moglo opisati postojeće stanje, potrebno je raspolagati kvalitetnim podlogama.

Ulazni podaci vezani uz potrošnju vode, koje je potrebno definirati u svim čvorovima na modelu, dobiveni su na temelju obrade rezultata provedenih mjerenja protoka. Obzirom da model razmatra nestacionarne uvjete tečenja, bilo je potrebno definirati satnu neravnomjernost potrošnje. U odnosu na rezultate provedenih mjerenja, definirana je satna neravnomjernost za period od 10 uzastopnih dana.

3.2.2 Kalibracija modela postojećeg stanja

U sklopu predmetne analize provedena je i kalibracija modela na temelju rezultata većeg broja terenskih ispitivanja, odnosno mjerenih vrijednosti protoka i tlakova u karakterističnim točkama sustava. Sva mjerenja su provedena u periodu od sedam mjeseci (studeni 2007. – svibanj 2008. godine) i obuhvaćaju kontrolu protoka i tlakova. Lokacije mjernih postaja odabrane su na temelju preliminarnih analiza sustava na način da se dobije zadovoljavajuća kontrola postojećeg stanja, a time i da kalibrirani model u što je moguće boljoj mjeri opisuje postojeće stanje.



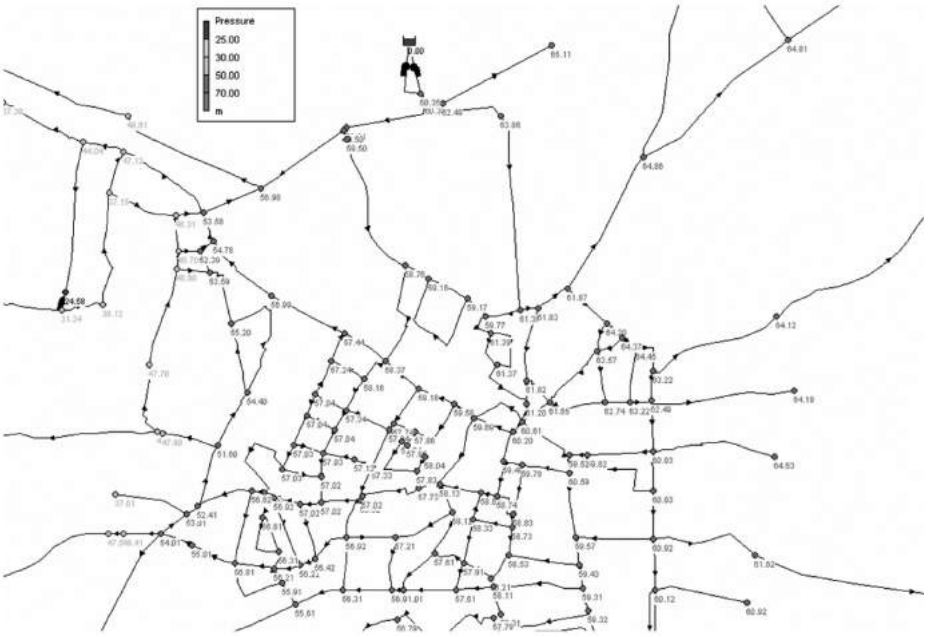
Slika 3 Rezultati kalibracije modela postojećeg stanja

Rezultati matematičkog modeliranja ukazuju da model u zadovoljavajućoj mjeri opisuje postojeće stanje. Navedena konstatacija rezultat je dobrih podudaranja rezultata dobivenih na modelu i mjerenih vrijednosti protoka i tlakova.

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da se model može uspješno koristiti za planiranje svih budućih aktivnosti koje mogu uključivati proširenje postojećeg sustava (izgradnja novih cjevovoda), provođenje odgovarajućih mjera unapređenja hidrauličko-pogonskih uvjeta unutar cjevovodne mreže, kontrola gubitaka i sl.

Na temelju rezultata matematičkog modeliranja postojećeg stanja (Slika 4) uočava se

generiranje povišenih tlakova (cca 5-6 bara) unutar cjevovodne mreže, osobito tijekom noćnog režima s minimalnom potrošnjom vode. Navedeno naslućuje potrebu za provođenjem odgovarajućih mjera unapređenja cjelokupnog sustava.



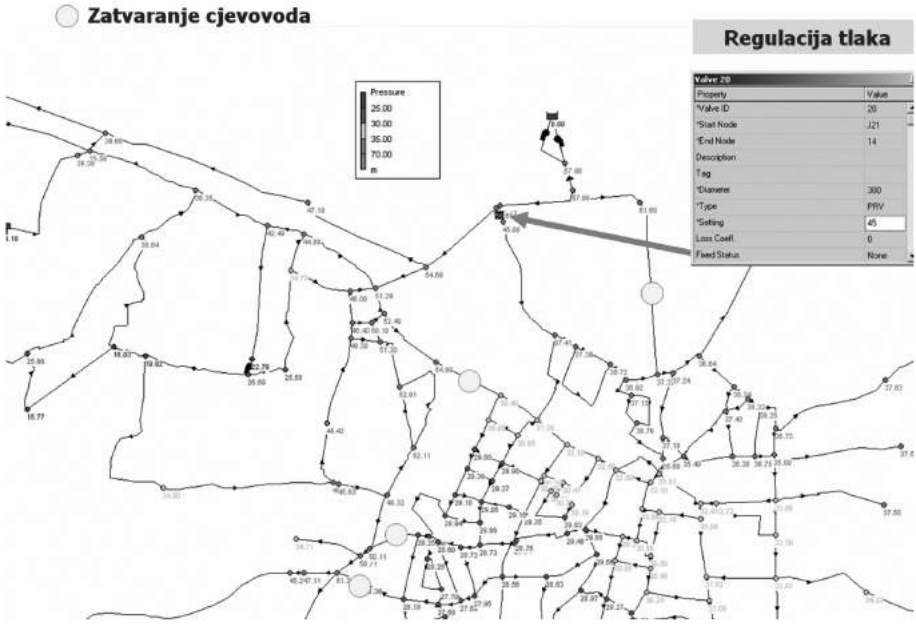
Slika 4 Rezultati matematičkog modeliranja postojećeg stanja – raspodjela tlakova tijekom noćnog režima

3.2 Buduće stanje

Modeliranjem budućeg stanja nastoji se provesti optimalizacija sustava, prvenstveno u smislu definiranja određenih mjera kontrole tlakova, koji će rezultirati smanjenjem ukupnih gubitaka, odnosno u konkretnom slučaju smanjenjem vjerojatnosti povećanja ukupnih gubitaka uzrokovanih povišenim tlakovima unutar sustava.

Na modelu postojećeg stanja, uočeno je da se veliki tlakovi pojavljuju tijekom noćnog perioda s minimalnom potrošnjom vode i karakteristični su prvenstveno za područje gradske zone i prigradska naselja istočno od grada. Stoga je kao racionalni prijedlog kontrole tlakova predviđeno smanjenje tlakova na ulasku u gradsko područje, gledano od strane izvorišta i glavne vodospreme Močile. Kako iz danih pravaca postoji više cjevovoda, prijedlog je da se četiri cjevovoda tijekom noćnog režima zatvore, a samo jedan bude pušten u pogon i to na način da se ugradi zasun za regulaciju tlaka koji će nizvodno sniziti tlak unutar sustava (Slika 5).

Prednost korištenja matematičkog modela ogleda se u jednostavnosti određivanja optimalne vrijednosti nizvodnog tlaka, odnosno definiranju vrijednosti na koju treba podesiti regulator tlaka. Svaka izmjena ulaznih vrijednosti omogućava brzo provođenje svih algoritama unutar modela i uvid u ostvarene rezultate.



Slika 5 Prijedlog mjera unapređenja sustava – smanjenje tlakova unutar vodoopskrbne mreže

Na temelju rezultata ostvarenih na matematičkom modelu budućeg stanja (uz prijedlog mjera unapređenja sustava) može se zaključiti da projektirani i dimenzionirani sustav javne vodoopskrbe Grada Koprivnice u potpunosti zadovoljava u hidrauličkom i sanitarnom smislu ispravne pogonske uvjete tečenja otpadne vode. Kreirani model može poslužiti za provođenje daljnjeg unapređenja sustava. Naime, na modelu je moguće jednostavno i brzo utvrditi optimalne uvjete punjenja i pražnjenja glavne vodospreme Močile, kao i ostalih vodosprema unutar sustava. Navedeno podrazumijeva ispitivanje mogućosti maksimalne iskoristivosti korisnog volumena vodosprema u smislu njihovog punjenja tijekom noćnog režima s jeftinijom električnom energijom, u odnosu na dnevni režim. Isto tako, moguće je ispitivati i optimalni rad crpki na izvorištu, na način proračuna njihove učinkovitosti i potrošnje energije u odnosu na smanjenje ili povećanje brzine (broja okretaja).

ZAKLJUČAK

Iako primjena matematičkih modela unutar hrvatske prakse postaje sve učestalija, brojni su slučajevi gdje je njihovo korištenje vezano isključivo uz ubrzanje tijeka proračuna prema konvencionalnim načelima ili kao sredstvo potvrde rezultata dobivenih konvencionalnim metodama. Iz ovog se rada uočava važnost korištenja matematičkih modela pri unapređenju (hidrauličko, ekonomsko i dr.) sustava javne vodoopskrbe.

Za sve slučajeve hidraulički složenih sustava vodoopskrbe, primjereno korištenje matematičkih modela trebalo bi postati rutina.

LITERATURA

[1] Rossman, L.A., EPANET 2 - USERS MANUAL, EPA/600/R-00/057, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of research and development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268, USA, 2000.

[2] Bentley Systems, Incorporated, "*WaterGEMS v8 Users Manual*", Haestad Methods Solution Center, 27 Siemon Co Dr. Suite200W, Watertown, CT06795, USA, 2006.

[3] Branisavljević, N.; Prodanović, D.; Ivetić, M.; *Uncertainty reduction in water distribution network modelling using system inflow data*; Urban Water Journal, Volume 6, Issue 1, pages 69 - 79, February 2009.

[4] Fontanazza, M. C.; Freni, G.; La Loggia, G.; *Implementation of a Numerical Model for the Evaluation of Potential Apparent Losses in a Distribution Network*; IWA Water Loss 2009 Congress, Cape Town, JAR, International Water Association Publishing, p 381 – 389, 2009.

[5] Sethaputra, S; Limanond, Z; Wu, Z. Y.; Thungkanapak, P.; Areekul, K.; *Experiences using Water Network Analysis Modeling for Leak Localization*; u zborniku radova IWA Water Loss 2009 Congress, Cape Town, JAR, International Water Association Publishing, p 469 – 476, 2009.

[6] Trifunović, N.; Sharma, S.; Pathirana, A.; *Modelling Leakage in Distribution System using EPAnet*, u zborniku radova IWA Water Loss 2009 Congress, Cape Town, JAR, International Water Association Publishing, p 482 – 489, 2009.

[7] Zheng, Y. W.; Sage, P.; *Water Loss Detection via Genetic Algorithm Optimization-based Model Calibration*, u zborniku radova ASCE 8th Annual International Symposium on Water Distribution System Ananlysis, Cincinnati, Ohio, SAD, 2006.

AUTORI

dr. sc. Dražen Vouk, dipl.ing.građ. [a]

Prof. dr. sc. Davor Malus, dipl. ing. građ. [b]

Ivan Halikjević, dipl. ing. građ. [c]

Prof. dr. sc. Živko Vuković, dipl. ing. građ [d]

[a] Sveučilište u Zagrebu-Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb,Hrvatska, Email:dvouk@grad.hr

[b] Sveučilište u Zagrebu-Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb,Hrvatska, Email:malus@grad.hr

[c] Sveučilište u Zagrebu-Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000Zagreb,Hrvatska, Email: halkijevic@grad.hr

[d] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, Email:vukovic@grad.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.11.

ANALIZA MOGUĆNOSTI OPSKRBE OTOKA LASTOVA PITKOM VODOM KORIŠTENJEM LCA METODOLOGIJE

Slaven Dobrović, Davor Ljubas, Alen Džeko

SAŽETAK: U radu su analizirane četiri različite tehnologije opskrbe otoka Lastova pitkom vodom: transport pitke vode brodovima vodonoscima, transport podmorskim cjevovodom i dvije desalinacijske tehnologije – proizvodnja pitke vode iz morske vode i iz bočate vode reverznom osmozom. Godišnja potrošnja vode procjenjuje se na oko 110000 m^3.

Procjena utjecaja na okoliš svake od ispitivanih tehnologija temelji se na Life Cycle Assessment (LCA) metodologiji (procjena životnog ciklusa) uz praćenje i ekonomskih aspekata. Rezultati analiza pokazuju da je optimalna tehnologija za ovaj primjer desalinacija bočate vode postupkom reverzne osmoze. Njen procijenjeni investicijski trošak iznosi oko 3.000.000 kn (oko 410.000 EUR), a uz najmanji utjecaj na okoliš ova tehnologija ima i najnižu proizvodnu cijenu vode – 6,36 kn/m^3 (0,86 EUR/m^3).

KLJUČNE RIJEČI: opskrba pitkom vodom, reverzna osmoza, LCA analiza, utjecaj na okoliš

ANALYSIS OF THE POTABLE WATER SUPPLY ALTERNATIVES OF THE ISLAND OF LASTOVO USING LCA METHODOLOGY

SUMMARY: The four alternatives of the potable water supply for island of Lastovo were analyzed: transport with the water tankers, supply from mainland by the submarine pipeline, and two desalination alternatives by reverse osmosis – brackish and sea water application. The yearly water consumption amounts up to 110 000 m^3/year.

Evaluation of the environmental and economic performance of the observed alternatives was performed using Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Results of the analysis suggest that the optimal alternative is brackish water desalination using the reverse osmosis membrane technology. Besides the lowest environmental impact, its estimated investment cost is about 410 000 EUR and cost of production is the lowest and amounts about 0.86 EUR/m^3 of produced water.

KEY WORDS: potable water supply, LCA analysis, reverse osmosis, environmental impact

1 UVOD

Lastovo je južnodalmatinski otok površine oko 47 km^2. Tijekom godine broj stanovnika iznosi približno 800, a u turističkoj sezoni broj stanovnika može porasti na 2500 i više. Jedan od najvećih komunalnih problema Lastova je osiguranje dovoljne količine pitke vode tijekom ljetnih mjeseci. Stoga je potrebno napraviti analizu primjene mogućih tehnologija pripreme pitke vode za otok te ih usporediti promatrajući različite aspekte – tehničke, ekonomske kao i ukupni utjecaj na okoliš svake od njih. S tim u svezi sve više se počinje i u ovakvim slučajevima primjenjivati LCA (engl. Life Cycle Assessment – Procjena životnog ciklusa) metodologija, koja donosi novu kvalitetu usporedbi različitih tehnologija, proizvoda ili proizvodnih procesa (Hrvatska norma HRN EN ISO14040, 2008), (Hrvatska norma HRN EN ISO14044, 2008), (Sonneman i drugi, 2004), (Horne i drugi, 2009), (Guinée, 2004). LCA metodologija je u velikoj mjeri korištena i međunarodno standardizirana metodologija koja pomaže kvantitativno prikazati utjecaj životnog ciklusa na okoliš. Sve faze životnog ciklusa proizvoda, od iskopavanja sirovina, prerade, upotrebe, recikliranja, kao i odlaganja otpada doprinose opterećenju na okoliš i trošenju resursa. Tijekom životnog ciklusa proizvodi/procesi doprinose promjeni klime, oštećenju ozonskog sloja, stvaranju smoga, eutrofikaciji, acidifikaciji, iscrpljivanju resursa uključujući korištenje zemljišta, buku i ostalo. Ako želimo kvantificirati utjecaje određenog proizvoda/procesa i odrediti koja izvedba proizvoda je povoljnija te prepoznati moguća poboljšanja potrebno je provesti procjenu životnog ciklusa proizvoda/procesa. To je moguće učiniti i za slučajeve pripreme pitke vode (Vincea i drugi, 2008), (Tapiaa i drugi, 2008).

Prema podacima dobivenim od tvrtke Komunalac d.o.o. – Lastovo, godišnje količine potrošnje pitke vode kreću se oko 110 000 m^3, pa je na temelju ove vrijednosti izrađena tehničko-ekonomska analiza za sva četiri slučaja opskrbe vodom te je procijenjen utjecaj na okoliš svake od tehnologija.

S obzirom da je otok Lastovo i turistička destinacija, ukupna godišnja količina vode neravnomjerno je raspoređena pa se može računati da se u dva najposjećenija ljetna mjeseca isporuči i preko 30 % vode. Jasno je da se vodoopskrbni sustav mora dimenzionirati za visoke ljetne potrošnje bez obzira na višestruko zimsko smanjenje potreba za vodom. Stoga se kao referentni kapacitet za ovu analizu uzima ljetnih 18 m^3/h prema kojem će se modelirati postrojenja za reverznu osmozu bočate i morske vode te podmorski vodovod.

Na temelju uvida u raspoložive tehnologije desalinizacije kao i moguće načine dobave pitke vode na otok Lastovo, razmatraju se 4 moguća načina za osiguranje pitke vode:

- Prerada bočate vode reverznom osmozom
- Prerada morske vode reverznom osmozom
- Dobava vode podmorskim cjevovodom s kopna
- Dobava vode brodom.

U ovom radu će se, osim usporedbe ekonomskih aspekata pojedinih tehnologija, provesti i LCA studija tehnologija pripreme vode.

2 OPIS MOGUĆIH TEHNOLOGIJA OPSKRBE LASTOVA PITKOM VODOM

Reverzna osmoza je membranski postupak desalinacije u kojem se pomoću visokog radnog tlaka sirove vode osigurava protok čiste vode u smjeru suprotnom od osmoze. Osmoza je spontani proces strujanja molekula vode kroz polupropousnu membranu iz područja manje u područje veće koncentracije, nastojeći pritom izjednačiti koncentracije otopina koje dijeli membrana. Desalinacija vode provodi se upravo suprotnim procesom, te se tlakom nastoji uspostaviti strujanje molekula vode kroz membranu iz područja većih u područje manjih koncentracija, pri čemu se razlika u koncentracijama stalno povećava. Zato se proces naziva reverzna osmoza i za njegovo odvijanje je nužan relativno visoki radni tlak, koji je prema van't Hoffovom zakonu proporcionalan koncentraciji soli:

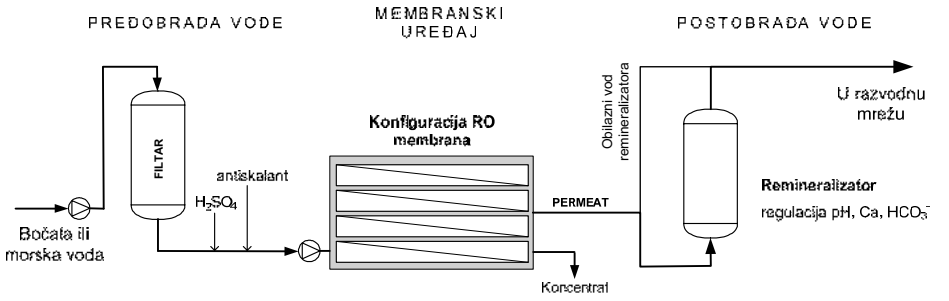
$$\pi = c \cdot R \cdot T,$$

gdje su π - osmotski tlak [Pa], c - koncentracija otopine [mol/l], R - opća plinska konstanta [J/(K·mol)], T - temperatura otopine [K].

Upravo zato je vrlo važno na otocima provesti hidrogeološka ispitivanja s ciljem pronalaska bočate vode, jer svaki odmak po pitanju saliniteta od morske vode znači velike uštede u energiji potrebnoj za pridobivanje pitke vode na reverzno osmotskom uređaju. Osim samog membranskog uređaja koji se sastoji od određenog broja membranskih elemenata smještenih u tlačne cijevi uz određenu konfiguraciju, sustav za reverznu osmozu slane vode uključuje predobradu i postobradu vode. Predobradom se uklanjaju eventualno prisutne suspendirane tvari i regulira se problem nastajanja karbonatnih i ostalih precipitata na membrani, dok se postobradom povisuje pH i dodaje određena količina kalcija. Time se smanjuje agresivnost i poboljšava okus permeata odnosno pripremljene pitke vode.

Osnovni dijagram sustava za reverznu osmozu prikazan je na slici 1.

shemu isto:



Slika 1. Osnovni dijagram sustava za reverznu osmozu

Konfiguriranje membranskog uređaja, odnosno odabir broja i rasporeda mebranskih elemenata ima vrlo važan utjecaj na mnoge radne karakteristike. Pritom se u obzir uzimaju različiti kriteriji kao što je stupanj iskorištenja vode, čistoća permeata, specifični utrošak energije i drugi. Svaki ozbiljni proizvođač membrana razvio je programski paket kojim omogućuje kvalitetno konfiguriranje uređaja, izbor pojedinih vrsta membrana kao i simulaciju rada uređaja za detaljno definiranu kvalitetu ulazne vode. U ovom radu korišten je programski paket ROSA 6.1., proizvođača membrana DOW, SAD.

2.1 Desalinacija morske vode reverznom osmozom

Osnovno dimenzioniranje postrojenja

Ulazni podaci:

- Potrebna količina pitke vode: 18 m^3/h
- Količina otopljenih tvari: 35000 ppm
- Ukupni broj membranskih elemenata: 46

Procjena investicijskih i pogonskih troškova

Ukupni investicijski troškovi u što je uključena izgradnja postrojenja za reverznu osmozu, građevinski, elektro i strojarski radovi procjenjuju se na 5.000.000 kn.

Pogonski troškovi uključuju električnu energiju potrebnu za pogon pumpi, utrošak kemikalija, amortizacijske troškove i naknade za korištenje i zaštitu voda te su detaljno prikazani u tablici 1 za oba slučaja primjene reverzno osmotske tehnologije.

Zbrojem svih pogonskih troškova uređaja za reverznu osmozu morske vode dobiva se iznos od **8,68 kn/m^3** pitke vode.

	Reverzna osmoza morske vode	Reverzna osmoza bočate vode
Električna energija		
E, kWh/m^3 pitke vode	6,05	1,54
Srednja vrijednost cijene el. energije, kn/kWh	0,40	0,40
Cijena el. energije, kn/m^3 pitke vode	2,024	0,616
Ostali troškovi		
Antiskalant, kn/m^3	0,136	0,2238
$Ca(OH)_2$, kn/m^3	0,32	0,32
NaClO, kn/m^3	0,0012	0,0002
Održavanje i amortizacija, kn/m^3	4,5	3,5
Naknada za korištenje voda, kn/m^3	0,8	0,8
Naknada za zaštitu voda, kn/m^3	0,9	0,9
UKUPNO, kn/m^3	8,68	6,36

Tablica 1. Prikaz pogonskih troškova za obradu morske i bočate vode reverznom osmozom

2.2 Postrojenje za desalinaciju bočate vode

Ovaj sustav sličan je sustavu za desalinaciju morske vode. Razlikuju se u broju i vrsti membranskih elemenata kao i potrošnji električne energije i kemikalija.

Osnovno dimenzioniranje postrojenja

Ulazni podaci:

- Potrebna količina pitke: vode 18 m^3/h
- Količina otopljenih tvari : 3000 ppm
- Ukupni broj membranskih elemenata: 23

Procjena investicijskih i pogonskih troškova

Trošak izgradnje postrojenja za reverznu osmozu bočate vode, uključujući građevinske, elektro i strojarske radove procjenjuje se na 3.000.000 kn.

Svi pogonski troškovi uređaja za reverznu osmozu bočate vode, prikazani u tablici 1, iznose **6,36 kn/m^3** pitke vode.

2.3 Opskrba pitkom vodom putem podmorskog cjevovoda

Za ovaj slučaj predviđena je izgradnja podmorskog vodovoda s otoka Korčule do otoka Lastova. Njegova dužina bi bila 30 km sa priključnim cjevovodima, a s tim podatkom se ulazilo u investicijsku studiju i u postupak procjene utjecaja na okoliš.

Cjevovod bi se priključio na Neretvansko-pelješko-korčulanski cjevovod koji se opskrbljuje pitkom vodom s izvorišta Prud kod Metkovića.

Procjena investicijskih i pogonskih troškova

U investicijski trošak ulazi izgradnja podmorskog cjevovoda, a tekući troškovi obuhvaćaju potrošnju energije za pogon pumpi i utrošak kemikalija za obradu pitke vode.

Prema podacima dobivenim od građevinskih tvrtki cijena izgradnje podmorskog cjevovoda po dužnom metru ovisi o stanju na terenu i principu izvođenja tako da može varirati od 250 – 500 EUR po metru.

U ovom slučaju za trošak izgradnje cjevovoda pretpostavljena je cijena od 300 EUR što, ovisno o tečaju, iznosi oko 2200 kn/m.

Za duljinu cjevovoda od 30 km investicija iznosi 66.000.000 kn.

Pogonski troškovi ove varijante svedeni su na prodajnu cijenu vode susjednog otoka Korčule od **12,66 kn.** Pretpostavka je autora da se ovim iznosom mogu pokriti svi pogonski troškovi ove varijante.

2.4 Opskrba vodom putem brodova vodonosaca

U ovom slučaju izračunata je investicija i procijenjeni utjecaji na okoliš ako se za opskrbu pitkom vodom koriste brodovi vodonosci. Oni dovoze vodu morem od kopna do otoka, a učestalost njihovog dolaska ovisi o potrebama.

Procjena investicijskih i pogonskih troškova

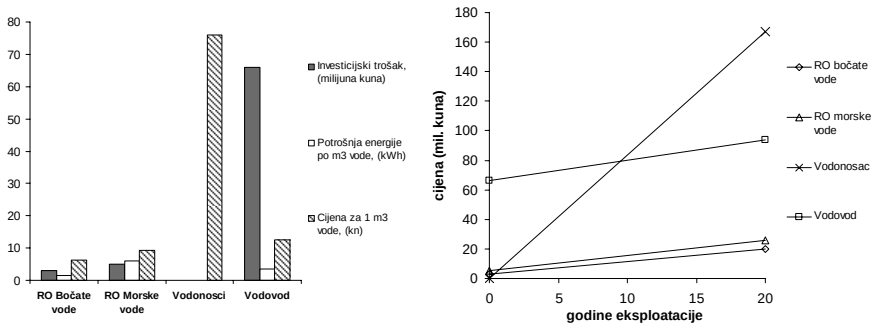
Kod opskrbe vodom brodovima ne računa se investicijski trošak nego samo pogonski troškovi koji za 1 m^3 pitke vode iznose 75,90 kn.

S tom cijenom i potrošnjom od 110.000 m^3 godišnje dobivamo kroz životni vijek od 20 godina potrošnju od 166.980.000 kn.

3 REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Usporedba troškova za pojedine tehnologije

Na dijagramu na slici 2-A grafički je prikazana usporedba investicijskih troškova za sva četiri tipa opskrbe vodom i izražena je u milijunima kuna te usporedba cijene i potrošnje po m^3 pitke vode za svaki proces.



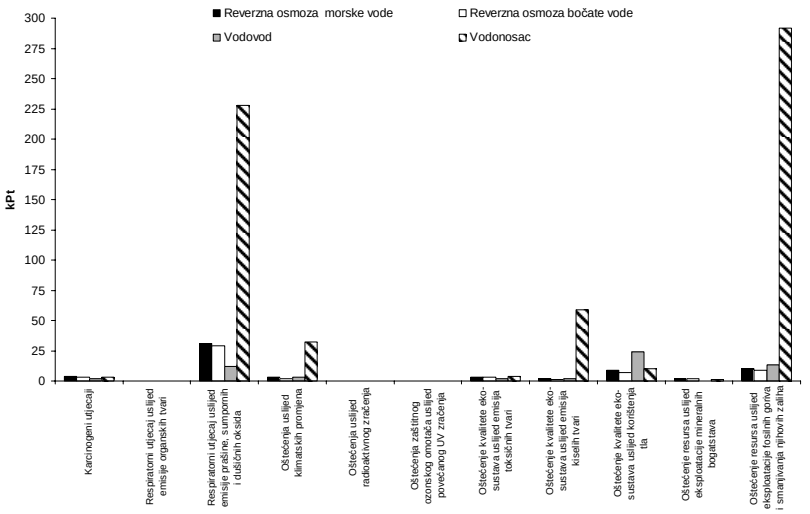
Slika 2. Usporedba troškova i cijena (A) i troškova kroz eksploataciju od 20 godina (B)

Prema dijagramu na slici 2-B vidljivo je da su za životni vijek od 20 godina vodovod i vodonosci višestruko skuplje tehnologije. Podmorski vodovod je samo u usporedbi s vodonoscima isplativ i svoju investiciju opravdava tek nakon 9,5 godina dok je kod reverzne osmoze bočate vode investicija u usporedbi s vodonoscima isplativa već nakon 6 mjeseci.

Prema ovom dijagramu možemo zaključiti da je sa ekonomskog stajališta najpovoljniji sustav za reverznu osmozu bočate vode.

3.2 Usporedba ukupnih utjecaja okoliš pojedinih tehnologija

Sljedeći dijagrami dobiveni su korištenjem programskog paketa SimaPro 7.1 i metode Eco-Indicator 99, koji su predviđeni kao pomoć tijekom izrade LCA studije i koji su prilagođeni normama ISO 14040 i ISO 14044.



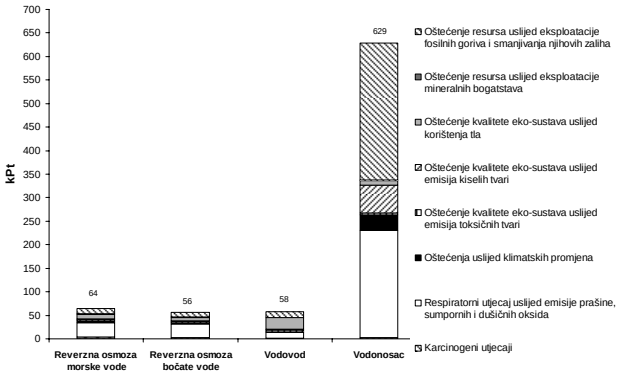
Slika 3. Težinski faktori sva 4 tipa vodoopskrbe

U dijagramu na Slici 3 mogu se očitati vrijednosti (eko-bodovi) utjecaja svakog pojedinog tipa vodoopskrbe na klimatske promjene, ozonski omotač, itd., dobivenih LCA metodologijom. Kao mjerilo za usporedbu uvedeni su težinski faktori u obliku eko-bodova (points, skraćenica Pt). Težinski faktori predstavljaju stav europskog društva prema važnosti određenog tipa opterećenja okoliša na temelju istraživanja velikog broja stručnjaka.

Na slici 4 prikazana je usporedba ukupnih utjecaja na okoliš svakog pojedinog tipa vodoopskrbe otoka Lastova: najznačajniji utjecaj na okoliš i žive organizme ima sustav vodoopskrbe putem vodonosaca jer najviše koristi fosilna goriva koja izgaranjem stvaraju vrlo nepovoljne uvjete za okoliš i žive organizme.

Sustav za desalinaciju bočate vode i podmorski vodovod imaju podjednak ukupni utjecaj na okoliš, ali su im velike razlike u potrošnji resursa (potrošnja goriva) te u cijeni.

Sustav za reverznu osmozu morske vode ima nešto nepovoljniji utjecaj na okoliš, a uzrok tome je veća potrošnja električne energije.



Slika 3. Težinski faktori sva 4 tipa vodoopskrbe

Tijekom modeliranja svih procesa u LCA postupku pretpostavljeno je da se električna energija za pogon procesa reverzne osmoze i bočate i morske vode dobiva iz hidroelektrana (relativno „čista“ energija) što je, između ostalog, dodatni razlog da se pojavljuje ovako velika razlika u utjecaju na okoliš između tehnologije prijevoza vode vodonoscima i ostala 3 tipa vodoopskrbe.

ZAKLJUČAK

Prema usporedbama utjecaja na okoliš i ekonomskih aspekata za sva 4 tipa vodoopskrbe otoka Lastova može se zaključiti da se kao optimalno rješenje ističe sustav za desalinaciju bočate vode koristeći tehnologiju reverzne osmoze.

U ekonomskoj analizi pokazano je da je taj sustav najpovoljniji i prema investicijskim i prema pogonskim troškovima. Usporedbom troškova energije utvrđeno je također da je taj sustav, ako se izuzme prijevoz vode brodovima – kao alternativa prikladna jedino u izvanrednim situacijama, opet najpovoljniji.

Provedena studija prema LCA metodologiji koja sustavno uzima obzir utjecaje na okoliš

pojedinih procesa također daje prednost desalinaciji bočate vode reverznom osmozom nad ostalim predloženim tehnologijama opskrbe Lastova pitkom vodom kao tehnologiji s najmanjim utjecajem na okoliš.

LITERATURA

[1] Guinée, J.B. (ed.), (2004): *Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards*, Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 692

[2] Horne, R., Grant, T., Verghese, K., (2009): *Life Cycle Assessment – Principles, Practice and Prospects*, CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 175

[3] Hrvatska norma HRN EN ISO14040, (2008): *Upravljanje okolišem – Procjena životnog ciklusa (LCA) – Načela i okvir rada*, HZN-Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 20

[4] Hrvatska norma HRN EN ISO14044, (2008): – Upravljanje okolišem – Procjena životnog ciklusa (LCA) – Zahtjevi i smjernice, HZN-Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 46

[5] Sonneman, G., Castells, F., Schumacher, M., (2004): *Integrated life-cycle risk assessment for industrial processes*, Lewis Publishers-CRC, Boca Raton London New York Washington, D.C., 366

[6] Tapiaa, M., Siebela, M.A., van der Helmb, A.W., Baarsd, E.T. and Gijzena, H.J., Environmental, financial and quality assessment of drinking water processes at Waternet, *Journal of Cleaner Production*, 16 (2008), 401-409

[7] Vincea, F., Aoustina, E., Bréanta, Ph., Marechalb, F., LCA tool for the environmental evaluation of potable water production, *Desalination*, 220 (2008) 37–56

AUTORI

prof. dr. sc. Slaven Dobrović [a]
doc. dr. sc. Davor Ljubas [b]
Alen Džeko, dipl. ing. stroj. [c]

[a] Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, slaven.dobrovic@fsb.hr

[b] Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, davor.ljubas@fsb.hr

[c] Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, alen.dzeko@gmail.com

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.12.

APPLICATION OF ELECTROCHEMICAL METHODS FOR THE PREPARATION OF DRINKING WATER - AN EXAMPLE OF EASTERN SLAVONIA WATERS

Višnja Oreščanin, Robert Kollar, Karlo Nađ

*SUMMARY:*The purpose of this work was development and application of the purification system suitable for the treatment of groundwater used for human consumption. The system should satisfy the following basic criteria: (a) no need for external addition of the chemicals (coagulants/flocculants, adsorbents, acids, basis); (b) applicable for simultaneous removal of wide range of contaminants present in the treated water (microbiological, inorganic, organic); (c) low sensitivity to the changes in the composition of the treated water; (d) high quality of treated water with regard to all measured parameters. For that purpose Eastern Slavonia groundwaters with elevated values of heavy metals, color, turbidity, suspended solids, ammonia and organic contaminants were used. Due to the complexity of the composition of the treated water the purification system required electrochemical treatment using appropriate elctrochemical reactors followed by simultaneous ozonation/UV treatment. All measured parameters in the purified water were significantly lower compared to regulated values. Under the optimum treatment conditions removal efficiency of color, turbidity, suspended solids, nickel and arsenic was 100%. Removal efficiency of Fe, Mn, Cr, Zn, Cu, COD and ammonia was 99.4%, 95.7%, 98.2%, 74.0%, 99.1%, 93.8% and 94.0% respectively and increased with increasing initial concentration.

KEY WORDS: heavy metals, ozonation, electrocoagulation, iron anode, aluminum anode, electrostatic precipitation

PRIMJENA ELEKTROKEMIJSKIH METODA U PRIPREMI PITKE VODE-PRIMJER VODA ISTOČNE SLAVONIJE

SAŽETAK: Predmet ovog rada je razvoj i primjena sustava za pročišćavanje podzemnih voda koje se koriste u vodoopskrbi s ciljem zadovoljavanja sljedećih kriterija: (a) da ne zahtijeva vanjsko dodavanje kemikalija (koagulanata/flokulanata, adsorbensa, kiseline, lužine); (b) da je primjenjiv za simultano uklanjanje širokog spektra zagađenja (mikrobiološko, anorgansko, organsko); (c) s niskom osjetljivošću na promjene sastava ulazne vode te (d) s visokim stupnjem pročišćavanja obzirom na sve mjerene parametre. U tu svrhu korištene su vode Istočne Slavonije s povišenim vrijednostima teških metala, suspendirane tvari, boje, mutnoće, amonija i organskog opterećenja. Obzirom na kompleksnost sastava ulazne vode sustav pročišćavanja sastojao se od elektrokemijske

obrade primjenom odgovarajućih elektrokemijskih reaktora te završne obrade ozonom i UV zračenjem. Svi mjereni parametri u pročišćenoj vodi su značajno niži od graničnih vrijednosti sukladno Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08). Pod optimalnim uvjetima obrade uklonjeno je 100% boje, mutnoće, suspendirane tvari, nikla i arsena. Postotak uklanjanja Fe, Mn, Cr, Zn, Cu, KPK i amonija je iznosio 99.4%, 95.7%, 98.2%, 74.0%, 99.1%, 93.8% i 94.0% i povećavao se s porastom ulazne koncentracije.

KLJUČNE RIJEČI: teški metali, ozoniranje, elektrokoagulacija, željezna anoda, alumi-nijska anoda, elektrostatski taložnik

1. INTRODUCTION

Water is essential to sustain life, and a satisfactory (adequate, safe and accessible) supply must be available to all (WHO, 2008). Unsafe water used for human consumption and/or hygienic purposes represents significant health risk for the exposed population. Those at greatest risk of waterborne disease are infants and young children, the elderly and the people living under unsanitary conditions.

Deterioration of groundwater quality could be attributed with anthropogenic as well as natural causes. Eastern Slavonia waters could be a prefect example of naturally (geologically) conditioned reduction of water quality due to a significant enrichment of arsenic, iron and manganese compared to national legislation and WHO guidelines (Ćavar et al., 2005; Habuda-Stanić et al., 2007; Romić et al, 2010; Roje and Kozar, 2010; Ujevic et al., 2010).

Ujevic et al., 2010 investigated groundwater quality from 56 production wells in Osijek-Baranja and Vukovar-Srijem counties. Arsenic concentration exceed both Croatian and WHO guideline value in more than half of the tested samples with the concentrations ranging from 1.3 to 491 μg/L. Besides, ammonia concentration ranging from <DL-2.82 mg/L, total iron ranging from <DL-3.77 mg/L and manganese ranging from <DL-0.437 mg/L also exceeded maximum permissible limit in more than 60 % of the samples.

These results were in agreement with the previous findings (Habuda-Stanić et al., 2007) reporting enrichment of groundwater from Eastern Croatia in Fe, Mn, NH_3, organic matter and As.

Elevated values of arsenic, manganese and vanadium in some artesian wells from the Osijek region were also reported by (Roje and Kozar, 2010).

Romić et al, 2010 reported arsenic concentration ranging from 16 to 358 μg/L (mean value 240 μg/L) in groundwater taken from 12 piezometers and 18 wells, with the depths ranging from 21 to 200 m, from the ''Vinogradi'' well-field supplying the Osijek area.

171.6±2.93 μg/L of arsenic was found in tap water from Čepin (Osijek region) and 611.8±10.06 μg/L in Andrijaševci (Vinkovci region) (Ćavar et al., 2005). Arsenic concentration in the water highly correlate with the concentration of arsenic measured in the hair samples of the water consumers.

For the preparation of drinking water various purification methods have been developed so far. Among them coagulation/flocculation (Edzwald, 1993; Julien et al., 1994; Hering et al., 1997; Gregor, 1991; Guigui et al., 2002), ion exchange using clinoptilolite (Hodi et al., 1995; Doula, 2009) or anion exchange resin (Hongve et al., 1999; Pintar et al., 2001; Pintar and Batista, 2006), adsorption onto granulated activated carbon or adsorbent prepared by precipitation of $Fe(OH)_3$ on Al_2O_3 as support material (Hodi et al., 1995), chemi-

cal precipitation using titanium dioxide (Prila et al., 2011) or combination of lime and calcium carbonate (Lee et al., 2007), sand filtration (Dryden, 2007) as well as filtration trough iron-oxides-containing filters (Van Den Bergh et al., 2010) or Mn-oxyhydroxides based filter (Tiede et al., 2007), various membrane technologies (Feldmann et al., 2002; Xia et al., 2005; 20007) as well as advance oxidation (Mas et al., 2005) were successfully used for that purpose either in laboratory or pilot plant scale.

In the last few years application of nano particles of silver (Shashikala et al., 2007), gold (Lisha et al., 2009), ceria (Peng et al., 2005) showed highly promising results in the drinking water purification. Anshup (2009) summarized the available literature data concerning the application of noble metals for water purification/sanitation.

Groundwaters from Eastern Croatia represent a complex system enriched in heavy metals and arsenic, suspended solids, color, turbidity, ammonia as well as organic contaminants. Such complex system requires a combined treatment approach in order to satisfy national regulations and WHO guidelines.

The purpose of this work was to develop an efficient treatment system enable to satisfy the following criteria:

- High quality of treated water with regard to all measured parameters,
- Fully automated process in order to avoid the need for qualified plant operator,
- Applicable for simultaneous removal of wide range of contaminants present in the treated water (microbiological, inorganic, organic),
- Low sensitivity to the changes in the composition of the treated water,

The system developed according to these criteria was based on simultaneous application of electrochemical methods and advanced oxidation processes.

2. MAJOR PART

2.1 Materials and methods

Groundwater was collected from the well situated in Darda (Eastern Croatia). Prior to the purification experiments water samples were homogenized and subjected to electroreduction/ electrocoagulation (Oreščanin et al., 2011) combined with advanced oxidation processes using ozone, and final electrostatic precipitation. In order to achieve maximum removal efficiency the following operational parameters were optimized: type of electrodes, electrode distance and surface, current density, reaction time and settlement time.

For the analysis of heavy metals and arsenic 100 mL of the original or purified water was adjusted to pH 0.1, 3 and 11 by addition of hydrochloric acid and ammonium hydroxide, preconcentrated by ammonium pyrrolidine-dithiocarbamate (APDC), filtered through a Millipore HAWP filter (pore size 0.45 μm; diameter 25 mm) using a Millipore micro filtration system) (Oreščanin et al., 2011) and analyzed by energy dispersive X-ray spectrometry (EDXRF).

All samples were irradiated by X-rays generated from X-ray tube (''Oxford instruments'') with Mo anode (high voltage: 40 kV; current: 900μA; cooling medium: Air). The detection of characteristic X-ray radiation from the sample was conducted with Si drift detector - model SXD15C-150-500 (Canberra, Meriden, USA) (surface: 15mm^2; FWHM for 5.9 keV ^{55}Fe: 145 eV; Window: 13 μm Be; cooling: thermo-electrical (peltier)). The incident and emerging angles were 45ş. For signal processing DSA 2000 (Canberra) was used. Spectral data were collected by Genie-2000 software (Canberra) while for spectrum de-

convolution and quantitative analysis WinAxil software package (Canberra) was used. In order to obtain a good counting statistic, collecting time was measured 10000 s. Calibration model for the qualitative and quantitative analyses was created on the basis of the measurements of the standard solutions (Merck) having the concentration range from 10 to 200 μgL^{-1}, prepared and measured in the same way as unknown samples.

pH value, electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) were determined by PHT-027 - water quality multiparameter monitor (Kelilong Electron).

Color, turbidity, suspended solids, COD and ammonia were determined using HACH DR890 colorimeter (Hach Company, Loveland, Colorado, USA).

2.2. Results and discussion

The values of physico-chemical parameters determined in untreated drinking water and upper permissible limit according to Croatian and WHO regulations are presented in Table 1. Compared to the upper permissible limit prescribed by the Ordinance on health safety of drinking water (OG No. 47/2008) only the values of zinc, copper, arsenic, sulfate and electric conductivity were in agreement with regulated values. The parameters color, turbidity, suspended solids, iron, manganese, Cr^{6+}, nickel, ammonia and COD exceeded permissible limit for 39.9, 23.8, 8.9, 7.5, 13.9, 11.1, 7.6, 3.7 and 4.0 times respectively. According to the Guideline values for chemicals that are of health significance in drinking water (WHO, 2006) turbidity, Fe, Mn, Cr^{6+}, Ni and ammonia exceeded maximum contaminant level by 19.0, 5.0, 1.7, 11.1, 2.2 and 1.2 times respectively.

Parameter	Before purification	MCL_{CRO}	MCL_{WHO}
Color (mg/PtCo)	797.5	20	-
Turbidity (NTU)	95	4	5
SS (mg/L)	89	10	-
Fe (mg/L)	1.49	0.2	0.3
Mn (mg/L)	0.693	0.05	0.4
Cr (VI) (mg/L)	0.553	0.05	0.05
Ni (mg/L)	0.152	0.02	0.07
Zn (mg/L)	0.1	3	3
As (mg/L)	0.007	0.01	0.01
Cu (mg/L)	1.483	2	2
pH	7.08	6.5-9.5	6.5-8
EC (mS/cm)	0.83	2.5	-
TDS (mg/L)	570	-	600
F (mg/L)	0.37	-	1.5
SO_4^{2-}(mg/L)	144	250	250
COD (mg/L)	16	4	-
NH_4^+ (mg/L)	1.83	0.5	1.5

Table 1. Physico-chemical parameters determined in untreated drinking water and maximum contaminant level prescribed by Croatian (MCLCRO) and World health organization (MCLWHO) regulatory body

Due to the presence of Cr^{6+} which exceeded both Croatian and WHO guideline values electroreduction followed by electrocoagulation using iron electrode set was applied first. The mechanism of Cr^{6+} removal could be explained by the potential Fe^{2+} ions introduced into solution by electrochemical corrosion of the sacrificial Fe anode plates to reduce Cr^{6+} to Cr^{3+}. Once converted to Cr^{3+} it combine with OH^- ions generated by the reduction of the water at the cathode surfaces and precipitate as poorly soluble $Cr(OH)_3$. Additionally, the bubbles of hydrogen gas generated by water reduction on the cathode plates on its way to the surface provide constant contact of the flocs with the pollutants in the water. Two minutes was sufficient for the reduction of Cr^{6+} to Cr^{3+} while the optimum time for the removal of the majority of the pollutants was 5 minutes. In the end of the reaction time iron electrodes were replaced with the aluminium electrode set.

Al^{3+} generated by electrolytic oxidation of the sacrificial anode and OH^- ions generated by the reduction of the water at the cathode surfaces form aluminum hydroxide flocs that serve as adsorbents/co precipitant for the pollutants present in the water. The optimum reaction time was 15 minutes. In the end of the reaction time electrodes were removed from the vessel while the suspension of electrochemically generated flocks and water was mixed by ozone bubbles for additional 10 minutes in order to oxidize the excess of Fe^{2+} to Fe^{3+} and to complete removal of the pollutants by coagulation/flocculation/co-precipitation. Finally, the suspension of the water and flocs was moved to electrostatic precipitator and allowed to settle for 10 minutes. Following the treatment water quality was improved significantly. With the exception of COD and ammonia applied electrochemical treatment resulted in clear water with the values of the parameters in accordance with Croatian as well as WHO guidelines (Table 2).

In order to satisfy the regulatory limits for organic constituents and ammonia the clear water was decanted and subjected to further 30 minutes treatment with ozone and UV light ($\lambda_{254\ nm}$) that were applied simultaneously. Applied treatment resulted in 100% removal of color, turbidity, suspended solids, nickel and arsenic. Significant improvement was also found for zinc (from 29% to 74%), sulfate (from 27.8% to 72.2%), COD (from 43.8% to 93.8%) and ammonia (from 29.0% to 94.0%). All measured parameters were in agreement with both Croatian and WHO regulated values. Besides, opposite to the chemical treatment using ferric and aluminum salts that increase conductivity and total dissolved solids in the purified water, electrochemical treatment alone or combined with advanced oxidation decreased both parameters significantly.

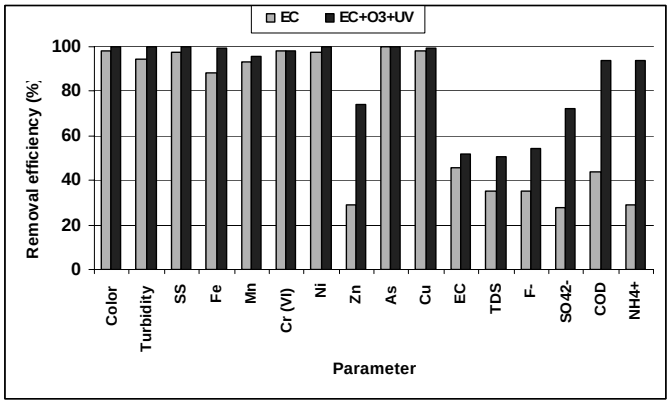


Figure 1. Removal efficiencies of the parameters from the drinking water treated by electrocoagulation (EC) or electrocoagulation+advanced oxidation using ozone and UV light simultaneously (EC+O3+UV)

Parameter	EC	EC+O_3+UV	MCL_{CRO}	MCL_{WHO}
Color (mg/PtCo)	17	0	20	-
Turbidity (NTU)	5	0	4	5
SS (mg/L)	2	0	10	-
Fe (mg/L)	0.171	0.009	0.2	0.3
Mn (mg/L)	0.047	0.03	0.05	0.4
Cr (VI) (mg/L)	0.01	0.01	0.05	0.05
Ni (mg/L)	0.004	0	0.02	0.07
Zn (mg/L)	0.071	0.026	3	3
As (mg/L)	0	0	0.01	0.01
Cu (mg/L)	0.027	0.013	2	2
pH	7.73	8.41	6.5-9.5	6.5-8
EC (mS/cm)	0.45	0.4	2.5	-
TDS (mg/L)	370	280	-	600
F (mg/L)	0.24	0.17	-	1.5
SO_4^{2-}(mg/L)	104	40	250	250
COD (mg/L)	9	1	4	-
NH4+ (mg/L)	1.3	0.11	0.5	1.5

Table 2. Physico-chemical parameters determined in the drinking water treated by electrocoagulation (EC) or electrocoagulation+advanced oxidation using ozone and UV light simultaneously (EC+O3+UV) and maximum contaminant level prescribed by Croatian (MCLCRO) and World health organization (MCLWHO) regulatory body

CONCLUSION

From the presented results it could be concluded that electrochemical treatment combined with advanced oxidation is a suitable approach for the purification of drinking water with complex mixture of contaminants, especially those with high turbidity and color. Following the treatment, concentrations of all measured parameters were significantly lower compared to either Croatian or WHO regulated values. Under optimum treatment conditions removal efficiency of color, turbidity, suspended solids, nickel and arsenic was 100%. Removal efficiency of Fe, Mn, Cr, Zn, Cu, COD and ammonia was 99.4%, 95.7%, 98.2%, 74.0%, 99.1%, 93.8% and 94.0% respectively. The obvious advantages of electrochemical treatment method compared to its physico-chemical counterparts are as follows:

1. There was no need for external addition of flocculating agents since they are electrochemically generated inside the treatment tank;
2. pH changes during the treatment process are minimal so there was no need for pH adjustment by acids/basis;
3. Treated water is clear, colorless and odorless and contains less total dissolved solids compared to the water obtained by standard chemical treatment;
4. Flocs formed by electrocoagulation can be separated faster by filtration compared to chemical flocs due to its higher stability, lower content of bound water and larger surface.

REFERENCES

[1] Anshup, PT, (2009): *Noble metal nanoparticles for water purification: A critical review*, Thin Solid Films, 517(24), 6441-6478.

[2] Ćavarar, S, Klapec, T, Jurišić Grubešić, R, Valeka, M, (2005): *High exposure to arsenic from drinking water at several localities in eastern Croatia*, Science of the Total Environment, 339, 277–282.

[3] Doula, MK, (2009): *Simultaneous removal of Cu, Mn and Zn from drinking water with the use of clinoptilolite and its Fe-modified form,* Water Research, 43(15), 3659-3672.

[4] Dryden, HT, (2007): *Drinking water: Improving sand filter performance*, Filtration & Separation, 44(5), 22-25.

[5] Edzwald, JK, (1993): *Coagulation in drinking water treatment: Particles, organics and coagulants*, Water Science and Technology, 27(11), 21-35.

[6] Gregor, J, (2001): *Arsenic removal during conventional aluminium-based drinking-water treatment*, Water Research, 35(7), 1659-1664.

[7] Guigui, C, Rouch, J, C, Durand-Bourlier, L, Bonnelye V, Aptel P, (2002): *Impact of coagulation conditions on the in-line coagulation/UF process for drinking water production*, Desalination, 147(1-3), 95-100.

[8] Hering, JG, Chen, P-Y, Wilkie, JA, Elimelech, M, (1997). *Arsenic removal from drinking water during coagulation*, Journal of environmental engineering, 123(8), 800-807.

[9] Habuda-Stanić, M, Kuleš, M, Kalajdžić, B, Romić, Ž, (2007): *Quality of groundwater in eastern Croatia. The problem of arsenic pollution,* Desalination, 210, 157–162.

[10] Hodi, M, Polyak, K, Hlavay, J, (1995): *Removal of pollutants from drinking water by combined ion exchange and adsorption methods,* Environment International, 21(3), 325-331.

[11] Hongve, D, Baann, J, Becher, G, Beckmann, OA, (1999): *Experiences from operation and regeneration of an anionic exchanger for natural organic matter (NOM) removal*, Water Science & Technology, 40(9), 215-221.

[12] Julien, F, Gueroux, B, Mazet, M, (1994): *Comparison of organic compounds removal by coagulation-flocculation and by adsorption onto preformed hydroxide flocs*, Water Research, 28(12), 2567-2574.

[13] Lee, M, Paik, IS, Kim, I, Kang, H, Lee, S, (2007): *Remediation of heavy metal contaminated groundwater originated from abandoned mine using lime and calcium carbonate.* Journal of Hazardous Materials, 144(1-2), 208-14.

[14] Lisha, KP, Anshup, PT, (2009): *Towards a practical solution for removing inorganic mercury from drinking water using gold nanoparticles*, Gold Bulletin, 42(2), 144-152.

[15] Mas, D, Pichat, P, Guillard, C, Luck, F, (2005): *Removal of monochloroacetic acid*

in water by advanced oxidation based on ozonation in the presence of TiO2 irradiated at λ > 340 nm, Ozone-Science & Engineering, 27(4), 311-316.

[16] Narodne Novine, (2008): Ordinance on Health Safety of Drinking Water (OG No. 47/2008) (in Croatian).

[17] Oreščanin, V, Kollar, R, Nađ, K, Lovrenčić Mikelić, I, Kollar I, (2011): *Characterization and treatment of water used for human consumption from six sources located in the Cameron/Tuba city abandoned uranium mining area*. Journal of Environmental Science and Health-Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering. 46. In press.

[18] Peng, XJ, Luan, ZK, Ding, J, Di, ZH, Li, YH, Tian, BH, (2005): *Ceria nanoparticles supported on carbon nanotubes for the removal of arsenate from water,* Materials Letters, 59(4), 399-403.

[19] Pintar, A, Batista, J, Levec, J, (2001): *Integrated ion exchange/catalytic process for efficient removal of nitrates from drinking water*, Chemical Engineering Science, 56(4), 1551-1559.

[20] Pintar, A, Batista, J, (2006): *Improvement of an integrated ion-exchange/catalytic process for nitrate removal by introducing a two-stage denitrification step*, Applied Catalysis B-Environmental, 63(1-2), 150-159.

[21] Pirila, M, Martikainen, M, Ainassaari, K, Kuokkanen, T, Keiski, RL, (2011): *Removal of aqueous As(III) and As(V) by hydrous titanium dioxide*, Journal of Colloid & Interface Science, 353(1), 257-262.

[22] Roje, V, Kozar, S, (2011): *Screening of the trace-metal content in the artesian-well water samples from selected area in Croatia − determination by inductively-coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS),* Microchemical Journal, In press.

[23] Romić, Ž, Habuda-Stanić, M, Kalajdžić, B, Kuleš, M, (2011): *Arsenic distribution, concentration and speciation in groundwater of the Osijek area, eastern Croatia,* Applied Geochemistry, 26(1), 37-44.

[24] Shashikala, V, Kumar, VS, Padmasri, AH, Raju, BD, Mohan, SV, Sarma PN, Rao, KSR, (2007): *Advantages of nano-silver-carbon covered alumina catalyst prepared by electro-chemical method for drinking water purification*, Journal of Molecular Catalysis A-Chemical. 268(1-2), 95-100.

[25] Tiede, K, Neumann, T, Stueben, D, (2007): *Suitability of Mn-oxyhydroxides from karst caves as filter material for drinking water treatment in Gunung Sewu, Indonesia*, Journal of Soils & Sediments, 7(1), 53-58.

[26] Ujević, M, Duić, Z, Casiot, C, Šipoš, L, Santo, V, Dadić, Z, Halamić J, (2010): *Occurrence and geochemistry of arsenic in the groundwater of Eastern Croatia*, Applied Geochemistry, 25, 1017–1029.

[27] Van Den Bergh, K, Du Laing, G, Montoya, JC, De Deckere, E, Tack, FMG, (2010): *Arsenic in drinking water wells on the Bolivian high plain: Field monitoring and effect of salinity on removal efficiency of iron-oxides-containing filters,* Journal of Environmental Science & Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environ-

mental Engineering, 45(13), 1741-1749.

[28] WHO, (2006): *Guidelines for drinking water quality*; incorporating first addendum, 3rd ed., Recommendation, vol. 1, World Health Organization, Geneva.

AUTORI

Višnja Oreščanin Ph.D [a]
Robert Kollar, bs. [a]
Karlo Nađ, bs. [a]

[a] Advanced energy Ltd., V. Prekrata 43, Zagreb, Croatia, vorescan@gmail.com

dr. sc. Višnja Oreščanin, Robert Kollar, dipl. ing., Karlo Nađ, dipl. ing.
Napredna energija d.o.o., V. Prekrata 43, Zagreb, Hrvatska, vorescan@gmail.com

R 3.13.

JAVNOZDRAVSTVENI ZNAČAJ ODRŽAVANJA KVALITETE BAZENSKIH VODA

Lovorka Bilajac, Tomislav Rukavina

SAŽETAK: Svaki bazen za plivanje, koji se koristi u hotelima, wellnes centrima ili športskim kompleksima smatra se objektom u javnoj upotrebi. Prilikom korištenja bazena ne smiju se zanemariti opasnosti i rizici koji mogu negativno utjecati na zdravlje kupača. Rizici koji se trebaju kontrolirati kategorizirani su u tri skupine: fizički, mikrobiološki i oni koji se odnose na izlaganje djelovanju kemikalija. Sve tri skupine bitne su u javnozdravstvenom smislu i zaštiti korisnika. Osiguravanje zdravstveno ispravne vode za kupanje prioritet je u sprečavanju širenja bolesti koje se prenose vodom, a osim održavanja kvalitete vode u bazenima, vrlo je važno održavati i adekvatne higijenske uvjete u okolišu bazena, iz razloga što većina nečistoća u bazen dolazi putem kupača. Zbog svega toga, održavanje zdravstveno ispravne i kvalitetne vode za kupanje nije lako te ovisi o mnogo čimbenika. Cilj ovog rada je ukazati na važnost segmenta održavanja higijenskih uvjeta, naglašavajući potrebu definiranja odgovornosti djelatnika, pismenog bilježenja učestalosti pranja, čišćenja i dezinfekcije te odabira adekvatnog sredstva za dezinfekciju koje ima aktivno djelovanje na bakterije, gljive i alge. Pored svega navedenog, smatramo da je edukacija kao i podizanje razine znanja i odgovornosti djelatnika koji provode higijensko održavanje jedan od najvažnijih preventivnih postupaka u održavanju kvalitete voda za kupanje te u sprečavanju mogućih incidentnih situacija

KLJUČNE RIJEČI: bazen, kvaliteta vode za kupanje, rizici za zdravlje

PUBLIC HEALTH SIGNIFICANCE OF MAINTENANCE QUALITY FEATURES SWIMMING POOL WATER

SUMMARY: Every swimming pool in hotels, wellness or sports complexes should be considered as a public object. The use of swimming pools is connected with possible hazards and risks that could adversely affect the health of bathers. Risks that should be controlled are categorized into three groups: physical, microbiological and those related to exposure to chemicals. All three groups are important in terms of public health and the protection of bathers. Provision of safe water for swimming is a priority in preventing the spread of diseases transmitted by the water. Except for the maintenance of water quality in pools, it is very important to maintain adequate hygiene of the environment around the pools, because the most of impurities that is found in the water originates from the users

themselves. The maintenance of safe and quality water in pool for swimming is not easy task and depends on many factors. The aim of this paper is to emphasize the importance of maintaining the hygienic conditions. Special emphasize is put on the necessity for defining of employees responsibilities, written records of washing, cleaning and disinfectant frequencies as well as on the proper choice of disinfectant with activity against bacteria, fungi and algae. Training the staff and improving the knowledge and responsibilities of employees who maintain hygienic measures is one of the most important preventive measures to keep recreational pool water quality and to prevent possible incidents.

KEY WORDS: swimming pool, water quality, health risk

1. UVOD

Zdravlje je osnovna potreba svakog čovjeka, a voda je preduvjet za zdravlje bilo da je konzumiramo ili je koristimo u rekreacijske i rehabilitacijske svrhe. Boravak na bazenima treba pružiti korisnicima sigurno okruženje te je važno osigurati dobru i stalnu kvalitetu glede higijene, sigurnosti i estetike, te na taj način isključiti svaki štetan utjecaj na čovjekovo zdravlje, posebno u odnosu na mikroorganizme, uzročnike bolesti.

Prema Zakonu o zaštiti pučanstva od zaraznih bolesti (NN 79/07) u dijelu općih mjera za sprečavanje i suzbijanje zaraznih bolesti nalaže se osiguravanje zdravstvene ispravnosti bazenskih voda kao voda od javno zdravstvenog interesa. U RH trenutno nije striktno definirana zakonska legislativa kojom se regulira ovo područje. U javnozdravstvenom smislu i zaštiti korisnika važno je postojeće opasnosti koje su prisutne u bazenskom okruženju svesti na minimum (WHO, 2006). U fizičke opasnosti ubrajaju se ozljede glave, potres mozga, ozljede ruku, ramena, nogu i stopala, a takve ozljede se povezuju s uzrocima kao što su sklizav pod, nepokriveni odvodi ili neprimjereno ponašanje kupača na bazenu kao što je nepromišljen ulazak u bazen, trčanje oko bazena, skakutanje po ležaljkama u okolini bazena i slično. Padovi i porezotine smanjuju osjećaj ugode za vrijeme same relaksacije. U fizičke opasnosti se ubrajaju i utapanja koja su jedan od najčešćih uzroka smrti na bazenima u svijetu kao i incidenti u kojima su utopljenici spašeni, a ipak su im ostale dugoročne posljedice na zdravlje (Vlok i drugi, 2010). U kemijske opasnosti se ubrajaju kemikalije koje se u bazensku vodu dodaju radi njezinog pročišćavanja, te razna kemijska sredstva koja u bazensku vodu mogu doći kupačima putem znoja, urina, ostataka sapuna, kozmetičkih sredstava ili ulja za sunčanje. Kemikalije se u ljudski organizam mogu unijeti putem disanja, kože i gutanjem. Količina progutane vode ovisi o iskustvu, dobi, vještinama i tipu aktivnosti kupača (Dufour i drugi, 2006). Kiseline i lužine dodaju se vodi kako bi se regulirao pH, a za dezinfekciju se najčešće koriste klorni preparati koji mogu dovesti do stvaranja mnogobrojnih nusprodukata. Najčešće spominjani nusprodukti dezinfekcije vode su trihalometani, iz čije skupine se najčešće analiziraju kloroform, diklor metan, dibromklor metan i bromoform. Kako se stvaraju u bazenskoj vodi, nalaze se i u zračnom prostoru iznad vode, a u organizam se mogu unijeti udisanjem, gutanjem i putem kože (Lee, 2009). Količina nastalog trihalometana u zatvorenim bazenima ovisi o broju kupača, ukupnom organskom ugljiku, pH i temperaturi vode. Usprkos stvaranju nusprodukata prilikom dezinfekcije vode, korištenje kemikalija kao dezinficijensa, manje je štetno za kupače nego mikrobiološka kontaminacija koja može nastati ukoliko se ne koriste dezinficijensi (WHO, 2006). Varijacije u koncentracijama trihalometana veće su u unutarnjim nego u vanjskim bazenima (Chu, 2002).

Od svih navedenih opasnosti posebno možemo izdvojiti mikrobiološke opasnosti. Povišen mikrobiološki sadržaj bazenskih voda povećava mogućnost prijenosa zaraznih bolesti i nastanka infekcija (Zura i dugi, 1990) što upućuje na manjkavosti prilikom upravljanja kvalitetom vode. Štetna djelovanja mogu biti usmjerena na probavni sustav, kožu, oči te spolno - mokraćni sustav (npr. infekcije gornjih dišnih putova, očnih spojnica - konjuktivitis, vanjskog zvukovoda, srednjeg uha itd.) (Hajjartabar, 2004). Analizom epidemioloških studija uočava se uzročno posljedična veza između simptoma probavnih smetnji i kvalitete vode za rekreaciju (Pruss, 1998). Obzirom na sve tri skupine prisutnih opasnosti na bazenima, cilj ovog rada je ukazati na važnost održavanja higijenskih uvjeta u bazenu i njegovom neposrednom okolišu s ciljem smanjena rizika i sprečavanja mogućih incidentnih situacija za korisnike kao i lakšem osiguravanju kvalitete vode za kupanje.

2. ODRŽAVANJE KVALITETE VODA U BAZENIMA ZA KUPANJE

Pravilno održavanje odgovarajuće kvalitete vode u bazenima za kupanje ovisi o više čimbenika, kako bi se sve navedene opasnosti svele na minimum. Temeljni preduvjet pravilnog održavanje kvalitete vode u bazenima je kvalitetno projektiranje i izgradnja. Današnja napredna i sofisticirana tehnologija koja je na raspolaganju prilikom gradnje bazena olakšava održavanje željene kvalitete vode. Međutim, unatoč tome, nužno je kontinuirano provođenje preventivnih mjera za održavanje vode sigurnom za kupanje. Učestalost provođenja preventivnih mjera ovis o vrsti bazena i njegovom funkcioniranju, s posebnim naglaskom na sustav filtracije, dezinfekcije i ostalih procesa koji pomažu uklanjanju uzročnika kontaminacije.

2.1. Građevinsko- tehnički preduvjeti

U građevinsko - tehničke preduvjete sigurnosti na bazenima ubrajamo pravilno izvedene dovode i odvode vode, upotrebu materijala koji ne utječu na sastav vode i ne podržavaju kolonizaciju neželjenih mikroroganizama uključujući alge, bakterije i gljive. Nadalje, sustav prelijevanja vode mora također biti izveden na funkcionalno prihvatljiv način dostupan za čišćenje. Okolina bazena uključuje bazene za dezinfekciju nogu, tuševe, sanitarne čvorove, garderobe, saune i ostale prostorije. Pri njihovu projektiranju i izgradnji također je nužno dobro odabrati materijale od kojih će biti izrađene podne površine oko bazena kako bi se osiguralo njihovo lako održavanje, a treba voditi računa i o izboru materijala koji će fizičke opasnosti svesti na najmanju moguću mjeru (WHO, 2006) (slika 1.).

Pravilno izveden sustav ventilacije predstavlja dodatan preduvjet održavanja odgovarajućih higijenskih uvjeta u bazenskom prostoru. Posebnu pozornost treba posvetiti tehničkom sustavu za održavanje kvalitete bazenske vode koji između ostalog obuhvaća odabir adekvatnog filtera za pročišćavanje, dezinfekcijsko sredstvo, regulaciju pH, flokulaciju, upotrebu algicida. Filteri mogu biti otvoreni (pješčani) i zatvoreni (pješčani ili naplavni). Trebaju biti izrađeni od materijala koji su otporni na koroziju i ne utječu na sastav i kvalitetu vode. Pravilan odabir filtera ovisi o vrsti bazenske vode, učinkovitosti, prihvatljivom načinu rukovanja, mogućnošću čišćenja i održavanja. Filteri se trebaju redovito čistiti i prati, a najčešća metoda koja se koristi je ispiranje protutokom (Dadswell, 1996) pri čemu se isprana količina vode ispušta u odvod. Postupak se provodi izvan radnog vremena bazena.

Kriteriji odabira dezinfekcijskog sredstva uključuju: sigurnost, kompatibilnost s vrstom bazenske vode (slatka, morska), tipom i veličinom bazena, učinkovitost i brzinu uklanjanja mikroorganizma. Postoji veliki broj sredstava za dezinfekciju, a najčešće se kao dezinficijens pojavljuje klor u različitim oblicima. Dezinfekcijska sredstva su: dezinficijensi na bazi klora (plinoviti klor, natrijev hipoklorit - najčešći, klor izocijanurat), dezinficijensi na bazi broma, ozon i UV zrake. Da bi dezinfekcijsko sredstvo u propisanim količinama bilo efikasno, važna je odgovarajuća protočnost vode kroz bazen, ispravno dimnezioniran uređaj za filtriranje i preljevni žlijeb s kompenzacijskim bazenom (WHO, 2006). Kod pripreme bazenske vode poželjno je provoditi dezinfekciju sredstvom s rezidualnim učinkom i korekciju pH vrijednosti. Dodana sredstva moraju se protokom vode ravnomjerno raspodijeliti u bazenu, tako da voda u cijelom bazenu zadovoljava uvjete zdravstvene ispravnosti (Rabi i drugi, 2008). Isto tako, važno je količinu dezinfekcijskog sredstva usklađivati s brojem kupača u bazenu (Hajjartabar, 2004).

U našim uvjetima najčešće korištena dezinfekcijska sredstva su na bazi klora. Dezinfekcijski učinak klora ovisi o ispravnoj pH-vrijednosti (Dadswell, 1996). Idealna pH vrijednost kreće se od 7,1-7,4. Ukoliko je pH vrjednost niža od 7, voda je kisela, te u bazenima s pločicama dolazi do razjedanja fuga, korozije metalnih dijelova bazena, metalnih dijelova na instalacijama, izmjenjivaču topline i na filteru kao i ostalih materijala koji su osjetljivi na kiselu reakciju vode. Ako su vrijednosti iznad 7,6, dolazi do taloženja mineralnih tvari (bijele naslage na bazenu) koje je potrebno češće odstranjivati. Pored toga i dezinfekcijski učinak klora je smanjen što zahtijeva povećanje njegove koncentracije kako bi spriječili rast mikroorganizama i algi, odnosno postigli zadovoljavajući dezinfekcijski učinak (WHO,2006). Time se povećava sadržaj kloramina u vodi koji uzrokuje nadraživanje očiju, osjetljivost kože, svrab i ostale neželjene pojave kod kupača.

Flokulacija je postupak kojim se mikroskopske nečistoće koje filter ne može zadržati, zgušnjavaju kako bi ipak bile zadržane na filteru. Voda je bez flokulacije obično mutna i nije ugodna za plivanje, iako svi ostali pokazatelji kvalitete vode mogu biti zadovoljavajući. Flokulacija je važna i za uklanjanje oocista i cista protozoa koje inače mogu proći kroz filter, a nisu osjetljivi na kemijsku dezinfekciju (WHO, 2006).

Rast algi uzrokuje promjene mirisa vode, a povećava i klizanje na oblogama bazenskih stijenki. Uz to usporava oksidaciju i dezinfekciju u bazenu. Obzirom da dezinfekcijska sredstva ne moraju nužno uklanjati alge, potrebno je koristiti zasebna sredstva za uklanjanje algi – algicide. Algicidi nemaju nikakav dezinfekcijski učinak, ali je njihova uporaba opravdana obzirom na činjenicu da naslage algi predstavljaju dobru podlogu za porast drugih mikroorganizama.

	Preporuke dobre prakse
Prevencija ozljeda u bazenu	Minimalno dva usisa po odvodu koji su dovoljno odvojeni kako bi spriječili hvatanje. Ispravne instalacije i rešetke odvoda kako bi se spriječilo zadržavanje usisavanja. Dostupno isključivanje pumpi tehničkom osoblju. Izbjegavati neovlaštene pristupe, postaviti izolacijske ograde (u okrugu bazena) najmanje 1.2 m visine sa samo-zatvaranjem uz oznake zabranjenog pristupa nezaposlenima.
Prevencija ronilačkih nezgoda	Jasni pokazatelji dubine na svim mjestima na bazenu. Promjene u dubini bazena trebaju se naglasiti koristeći boje - kontraste po dubini. Izbjegavati velike razlike u dubini bazena, posebice u plitkoj vodi (do 1.5m dubine)
Prevencija klizanja/ zapinjanja/ padanja	Neklizajući podovi izrađeni s nagibom prema odvodu. Ograditi područje direktne opasnosti (cijevi, oprema i slično). Zidovi sa strane i na kraju bazena trebaju biti minimalno 1m visoki (okomito) Stepenice za laki pristup u i van bazena.
Smanjivanje i kontrola fekalnog i nefekalnog zagađenja	Uklopiti i dizajnirati tuševe za kupače kako bi se istuširali prije ulaska u bazen (postaviti ih na lako pristupna mjesta). Strateško locirati bazenčića za dezinfekciju stopala kupača. Prilikom ispuštanja ili nakon mijenjanja opreme ili prilagođavanja cijevi, odvoda i slično treba potvrditi funkcioniranje- cirkulaciju sustava i odsutnost „mrtvih točaka" Javnim i polu javnim bazenima (gdje je to moguće) treba dodati male odvojene bazene za djecu kako bi smanjili mogućnosti davljenja te radi čestih slučajnih fekalnih ispuštanja.
Minimaliziranje izlaganju kemikalijama	Osigurati strujanje zraka na površini vode (umjetna ili prirodna ventilacija) i primjeren dotok i izmjenu zraka.
Smanjivanje nastanka nusprodukata dezinfekcije	Urediti sistem tretmana u bazenima na način da umanji nastajanje dezinfekcijskih nusprodukata (npr. prethodno tretiranje vode ukoliko je nužno, dezinfekciju sustava koji koriste manje klora – npr. UV ili ozon i klor)
Omogućiti prisutnost spasioca	Sa svih pozicija za spasioca potrebno je vidjeti svaki dio bazena. Odgovarajuće osvjetljenje. Osigurati da odraz ne ometa podvodnu vidljivost.

Slika 1. Preporuke dobre prakse vezane za opasnosti na bazenima donesene od Svjetske zdravstvene organizacije (Izvor: WHO, 2006.)

2.2. Procjena rizika i plan higijenskog održavanja

Bez obzira na suvremenu tehnologiju koja se primjenjuje pri izgradnji bazena, održavanje higijenskih uvjeta je i nadalje najvećim dijelom ovisno o ljudima koji sudjeluju u njihovom provođenju, kao i o načinu na koji se provode. Pravilno održavanje higijenskih uvjeta okolnih sadržaja bazena u uskoj je vezi s održavanjem kvalitete vode. Da bi se odredila kritična mjesta cjelokupnog bazenskog prostora te ustanovile fizičke, kemijske i mikrobiološke opasnosti koje ugrožavaju sigurnost korištenja bazena te utječu na kvalitetu vode, potrebno je prije svega provesti procjenu opasnosti i analizu rizika (Soller i drugi, 2006). Pri određivanju kritičnih mjesta može se koristiti objektivna provjera mikrobiološke čistoće u okolišu bazena uz redovito uzorkovanje i analizu bazenske vode na indikatorske parametre. Sljedeći korak je uspostava sustava nadzora nad kritičnim mjestima. Temeljem određenih kritičnih mjesta donosi se plan higijenskog održavanja kojim se uređuje učestalost i načini čišćenja, pranja i dezinfekcije svih prostora i prostorija koje pripadaju bazenskom okruženju te se definira i određuje osoba/e odgovorna/e za provedbu. Istim Planom uređuje se učestalost i način čišćenja samog bazena (dno bazena, stijenke, preljevni kanali itd.), uklanjanje otpada, provjetravanje prostorija te higijensko održavanje pribora i opreme koji se koriste prilikom čišćenja, pranja i dezinfekcije.

Sukladno planu higijenskog održavanja potrebno je provoditi i nadzor provedenih postupaka, a cilj takvog načina rada je utjecanje na svijest voditelja objekta i razvijanje odgovornosti djelatnika koji provode higijensko održavanje prostora, kao važnu preventivnu mjeru za sprečavanje nastanka infekcija. Na slici 2. naveden je primjer dijela Plana higijenskog održavanja prostora sanitarnih čvorova i tuševa. Provedba navedenih mjera dokumentira se u pratećim listama ili dnevnicima rada gdje djelatnici svojim potpisom potvrđuju provedbu određenih postupaka.

SANITARNI ČVOROVI i TUŠEVI	ČIŠĆENJE/ PRANJE	DEZINFEKCIJA	NAPOMENA
Podovi	Podne pločice potrebno je prati minimalno dva puta dnevno toplom vodom i deterdžentom, namjenskim sredstvima, a i češće po ukazanoj potrebi	Nakon pranja potrebno je prebrisati namjenskim dezinfekcjskim sredstvom	Važnost adekvatnog higijenskog održavanja očituje se u prevenciji prijenosa mikroorganizama sa nogu korisnika (npr. *Escherichia coli,Pseudomonas aeruginosa,* gljivice *Cadida albicans, Trichopyton, Epidermiphyton)*
Zidne pločice	Pranje u prostoriji s tuševima obavlja se dnevno toplom vodom i namjenskim sredstvom	Dezinfekcija se provodi minimalno jednom tjedno	Prevencija nakupljanja kamenca i mikroorganizama
Umivaonici	Dva puta dnevno toplom vodom i deterdžentom	Obavezno jedan puta dnevno na kraju dana	Prevencija nakupljanja mikroorganizama, kamenca, plijesni
Sanitarni čvor	wc školjke/ pisoari – minimalno dva puta dnevno	Obavezna dezinfekcija	Sprečavanje prijenosa infekcija među korisnicima
Rozete na slavinama i glave tuša	Čiste se jednom mjesečno i provjeravaju na prisutnost vodenog kamenca		Pojava kamenca vizualno je neprihvatljiva, te začepljeni tuševi više nisu funkcionalni, a istovremeno može biti mjesto za nakupljanje bakterija *(Legionella spp.)*
Provođenje ovih postupaka dokumentira se Evidencijskim obrascem 1. (muški dio), 2. (ženski dio), 3. (garderobe za invalide) i 4 (garderobe za klubove)			

Slika 2. Primjer plana higijenskog održavanja

Dnevnici rada trebaju sadržavati i podatke o redovito praćenim parametrima (temperatura bazenske vode i bazenski protoci, pH vrijednosti, koncentracija slobodnog klora, broj posjetitelja, količina dopunjene vode, potrošnja dezinfekcijskog sredstva, korektora pH vrijednosti, vrijeme početka i završetka pranja filtera) čije praćenje može ukazati na postojanje situacije povećanog rizika te omogućiti pravovremenu intervenciju (slika 3.). Nadalje, voditelji bazenskog kompleksa dužni su jasno definirati pravila ponašanja na bazenu, kao i uvjete koje kupači moraju poštivati (Zura i drugi, 1990) kako bi se izbjegle neželjene situacije po zdravlje korisnika. Tuširanje prije ulaska u bazen, obavezan prolazak kroz dezinfekcijske barijere, izbjegavanje korištenja bazena ukoliko korisnik ima simptome infekcija i slično samo su neka od korisnih pravila ponašanja koja smanjuju mogućnost nastajanka infekcija kod kupača (Elmir i drugi, 2007).

Dnevnik rada:
Bazen: _____

Datum: _____

Br.	Podatak (Jedinica)	Smjena ujutro	Potpis	poslijepodne	Potpis
1	Temperatura vode (°C)				
2	pH				
3	Koncentracija slobodnog klor (mg/l) (očitavanje automatskom mjeraču)				
4					
5	Redoks potencijal (mV)				
6	**Ručna mjerenja**				
	a) **Konc. Slobodnog klor** (mg/l)				
	b) **pH vrijednost**				
	c) **redoks potencijal** (mV)				
7	Količina dodane vode za punjenje (m^3/d)				
8	Rad crpke za kruženje vode (h/d)				
9.	Pranje filtera (vrijeme početka i završetka pranja)				
10.	Potrošnja dezinfekcijskog sredstva				

Slika 3. Primjer Dnevnika rada

2.3. Indikatori pravilnog održavanja kvalitete vode

Brojni objavljeni epidemiološki podaci i rezultati laboratorijskih analiza bazenskih voda upućuju na potrebu sustavnog ispitivanja i redovitog praćenja stanja na bazenu. To se prije svega odnosi na laboratorijsko praćenje indikatorskih mikrobioloških parametara što omogućuje objektivnu procjena rizika na bazenima. Među navedene parametre ubrajamo one koji ukazuju na opće higijensko stanje bazenskog sustava i na manjkavosti sustava održavanja kvalitete vode (ukupan broj bakterija na 24°C i na 37°C), kao i indikatore fekalnog zagađenja. Potonji ukazuju na povećanu mogućnost prisustva patogenih mikroorganizama u vodi, a ubrajaju fekalne koliformne bakterije i vrstu *Escherichia coli* koja predstavlja indikator fekalnog onečišćenja koja najčešće izaziva infekcije povezane s bazenima, a također je i pokazatelj neadekvatne dezinfekcije (Wade, 2003; WHO, 2006). Na neadekvatnu dezinfekciju vode ukazuje i prisustvo fekalnih streptokoka kao i prisutstvo vrste *Pseudomonas aeruginosa* koja nam ukazuje i na nepoštivanje pravila ponašanja od strane kupača (Hajjarbatar, 2004; Nikaeen, 2009).

Prisustvo bakterija *Staphylococcus aureus,* koje u vodu dospijevaju putem kupača, također ukazuje na neadekvatne higijenske uvjete prostora u okolišu bazena kao i nekorištenje potrebnih dezinfekcijskih barijera (Nikaeen, 2009).

Iako rezultati određivanja navedenih mikrobioloških parametara ne mogu biti trenutni, njihovo kontinuirano praćenje od iznimne je važnosti pri procjeni higijenskog stanja bazenskog sustava i održavanja kvalitete vode.

ZAKLJUČAK

Danas bazeni predstavljaju značajnu komponentu suvremenog načina života te je potrebno odgovorno osiguravati kvalitetu vode u bazenima kako bi voda imala pozitivan učinak na zdravlje ljudi. To se može postići primjenom suvremene tehnologije pri izgradnji bazena te poštivanjem načela dobre prakse pri upravljanju bazenskim sustavima. Redovitim praćenjem indikatorskih parametara pravovremeno se uočavaju nadolazeće opasnosti, omogućuje se pravovremeno reagiranje te se na taj način isključuje mogući štetan učinak na čovjekovo zdravlje. Analizom opasnosti i procjenom rizika određuju se kritična mjesta na kojima treba uspostaviti sustav nadzora kako bi se osigurala kontinuirana kvaliteta bazenske vode. Praćenje mikrobioloških parametara na kritičnim mjestima ukazuje nam na propuste prilikom održavanja higijenskih uvjeta u bazenu i njegovom okolišu. Pri tom treba imati u vidu potrebu i važnost uspostave zakonske legislative kojom se regulira sigurnost bazenskog okruženja i osigurava kvalitetno održavanje vode. Pored svega navedenog, edukacija djelatnika kao i podizanje razine njihove odgovornosti jedan od najvažnijih preventivnih postupaka u održavanju kvalitete voda za kupanje.

LITERATURA

[1] Chu, H., Nieuwenhuijsen, M.J., (2002): *Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools*, Occup Environ Med 59:243-247

[2] Dufour, A.P., Evans, O., Behymer T.D., Cantú, R.. (2006): *Water ingestion during swimming activities in a pool,* A pilot study*,* Journal of Water and Health, vol 04 no 4, 425-30.

[3] Dadswell, J.V., (1996): *Managing swimming, spa, and other pools to prevent infection*, Commun Dis Rep CDR Rew, 6(2), 37-40.

[4] Elmir, S.M., Wright, M.E., Abdelzaher, A., Solo-Gabriele, H.M., Fleming, L.E., Miller, G., Rybolowik, M., Shih, M.P., Pillai, S.P., Cooper, J.A., Quaye, E.A., (2007): *Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water*, Water research, 41, 3-10.

[5] Hajjartabar, M., (2004): *Poor- quality water in swimming pools associated with a substanial risk of otitis externa due to Pseudomonas aeruginosa*, Water Science & Technology, vol 50 no 1, 63-67.

[6] Lee, J., Hab, K.T., Zoha, K.D., (2009): *Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods,* Science of The Total Environment, vol 407 no 6, 1990-1997

[7] Nikaeen, M., Hatamzadeh, M., Dastjerdi V.M.; Hassanzadeh, A., (2009): *Predictive indikators of the safety of swimming pool waters*, Water Sci Tehnol, vol 60 no 12, 3101-7.

[8] Pruss, A., (1998): *Rewiew of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water,* Int J Epidemiol. Vol 27 no 1,1-9.

[9] Rabi, A., Khader, Y., Alkafejei, A., Abu Aqoulah, A., (2008): *Sanitary conditions of public swimming pools in Amman,Jordan,* Int J Environ Res Public Health, vol 5 no 3,152-7.

[10] Soller, J.A., Eisenberg, J.N.S., DeGeorge, J.F., Cooper, R.C., tchobanoglous, G., Olivieri, A.W., (2006): *A public health evaluation of recreational water imapairment*, Journal of Water and Health, vol 4 no1, 1-19.

[11] Vlok, A.J., Petersen, J., Dunn, R.N., Stander, J., (2010): *Shallow-water spinal injuries—devastating but preventable*, S Afr Med J, vol 100 no 10, 682-4.

[12] WHO (World Health Organization), (2006): *Guidelines for safe recreational water enviroments,Volume 2, Swimming pools and similar environments*, World Health Organisation, Switzerland, Geneva.

[13] Yoder, J.S., Hlavsa, M.C., Craun, G.F., Hill, V., Roberts, V., Yu, P.A., Hicks, L.A., Alexander, N.T., Calderon, R.L., Roy, S.L., Beach, M.J., Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2008): *Surveillance for waterborn disease and outbreaks associated with recreational water use and other aquatic facility-associated health events- United States,2005-2006*, MMWR Surveill Summ, vol 57 no 9,1-29.

[14] Zura, R.D., Gröschel, D.H., Becker, D.G., Hwang, J.C., Edlich, R.F.,(1990): *Is there a need for state health department sanitary codes for public hydrotherapy and swimming pools?,* J Burn Care Rehabilit, vol 11 no 2,146-50.

AUTORI

mr. Lovorka Bilajac, dipl.ing[a,b]

prof.dr.sc. Tomislav Rukavina, dr.med[a,c]

[a] Medicinski fakultet Sveučilište u Rijeci, Katedra za socijalnu medicinu i epidemiologiju, Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka, Hrvatska (*lbilajac@medri.hr, tomir@medri.hr*)

[b] Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko- goranske županije, Ispostava Opatija, Stube dr.V.Ekl 1, 51410 Opatija, Hrvatska

[c] Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko- goranske županije, Mikrobiološki odjel, Krešimirova 21, 51000 Rijeka, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.14.

STORMWATER TREATMENT IN COMBINED AND SEPARATE SEWER SYSTEMS: NECESSITY AND BENEFIT

Gebhard Weiss, Bad Mergentheim

SUMMARY: In Europe, traditionally either combined or separate urban drainage systems are used. In the past years, modified systems featuring retention and infiltration are preferred. The proposed paper shows up a simple approach for a comparison of the traditional combined and separate drainage systems, based on a new pollutant concentration database and other current results on the retention of pollutants. It can be shown that the separate system is not automatically "the better one"; the performance depends strongly on the pollutants under investigation. For sludge, chemical oxygen demand and particularly for heavy metals, a typical separate system will release much larger loads than a combined system. The latter system is worse with respect to BOD and nutrients.

From this scheme, benefit and necessity of proper stormwater treatment in any drainage system are pointed out. Some conclusions could be drawn for an improvement of stormwater treatment. First is that stormwater treatment is necessary in any of these two traditional drainage systems. It is definitely wrong to state that the separate system is generally "clean" so that no treatment is necessary. Basically, two strategies apply for minimization of the pollutant load spilled into the receiving waters:

- Temporary storage of stormwater. Many feeble storm events will not cause any overflow then. This idea is particularly effective in the combined system since it increases the annual volume of combined sewage treated finally in the WWTP. The flow to the WWTP may not be increased easily since the design throughflow must not be exceeded.
- Treatment of the stormwater by sedimentation, which is easily achievable using settling tanks. This technique is applied as well in the combined as in the separate system and will increase the performance.

For a successful implementation, it is essential that well-designed structures are used. The paper gives some examples of tried-and-tested structure designs from Germany.

Finally, an important feature for proper and cost-effective operation is also the necessary technical equipment such as flow controls or devices for cleaning the structure. This will influence an easy-to-operate structure design considerably.

PROČIŠĆAVANJE OBORINSKIH VODA U MJEŠOVITIM I RAZDJELNIM SUSTAVIMA ODVODNJE: POTREBE I KORISTI

SAŽETAK: U Europi se tradicionalno koriste mješoviti ili razdjelni komunalni sustavi odvodnje. U posljednje se vrijeme prednost daje modificiranim sustavima s retencijom i infitracijom. U članku se prikazuje jednostavan pristup usporedbi mješovitih i razdjelnih sustava odvodnje, zasnovan na novoj bazi podataka o koncentraciji onečišćivača i drugim rezultatima retencije onečišćivača. Moguće je dokazati da razdjelni sustav nije automatski "bolji", jer njegova uspješnost uvelike ovisi o onečišćivačima koji se ispituju. U pogledu otpadnog mulja, kemijske potrebe za kisikom, a naročito teških metala, uobičajeni razdjelni sustav stvoriti će mnogo veća opterećenja od mješovitog sustava. Mješoviti sustav je lošiji kada se radi o biološkoj potrebi za kisikom i hranjivim tvarima.

Na osnovu gore rečenoga, istaknute su koristi i potreba za odgovarajućim pročišćavanjem oborinskih voda u oba sustava odvodnje. Moguće je izvući određene zaključke u svrhu poboljšanja pročišćavanja oborinskih voda. Prvi zaključak je da je pročišćavanje oborinskih voda potrebno u oba tradicionalna sustava odvodnje. sasvim je pogrešna tvrdnja da je razdjelni sustav općenito "čist", pa stoga pročišćavanje nije potrebno. U osnovi, primjenjuju se dvije strategije za smanjenje opterećenja onečišćivačima koja dospijevaju u prijemna vodna tijela:

- Privremeno akumuliranje oborinskih voda. Mnogi manji oborinski događaji tada neće prouzročiti nikakva prelijevanja. Ova je ideja naročito djelotvorna u mješovitom sustavu, jer povećava godišnji volumen mješovitih otpadnih voda koje se u konačnici pročišćavaju na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda. Dotok na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda na tja se način neće lako povećati, jer nominalni protok ne smije biti premašen.
- Pročišćavanje oborinskih voda taloženjem, što se lako postiže primjenom taložnika. Ova se tehnika primjenjuje i u mješovitim i u razdjelnim sustavima, i povećava uspješnost.

Za uspješnu je provedbu od vitalne je važnosti da se koriste dobro projektirani objekti. Članak navodi neke primjere prokušanih i provjerenih projekata objekata iz Njemačke.

Naposljetku, važna karakteristika pravilnog i ekonomičnog rada jest i potrebna tehnička oprema, poput kontrole protoka i uređaja za čišćenje objekta, što će značajno utjecati na jednostavnost upravljanja uređajem.

1. INTRODUCTION

Any urban sewer system should yield both safe drainage of storm floods as well as good environmental protection. In the past years, modified drainage systems using infiltration have been widely used. Anyhow, there are many existing traditional sewer systems, either separate or combined. In order to minimize the pollutant load by overflow events during storms, stormwater treatment is necessary.

The present paper first reintroduces a rough comparison of the traditional sewer systems with respect to the pollutant loads, originally published by Brombach et al. (2004), which is also shown by Maleiner (2010). It focuses then on conclusions which can be drawn for the required performance of stormwater treatment measures. The benefit and the neces-

sity of a proper stormwater treatment are pointed out. Finally, some examples of treatment structures which are tried and tested solutions from Germany are shown, including also some equipment which influences the structure design and vice-versa.

2. TRADITIONAL COMBINED AND SEPARATE SEWER SYSTEMS

In Germany, around 2/3 of the built-up area is served by combined sewer systems, mainly in Southern Germany, cf. Brombach (2010). Today, there are around 24.000 combined sewer overflow tanks (CSO tanks) with storage volume and 20.000 combined sewer overflows (CSOs) in operation.

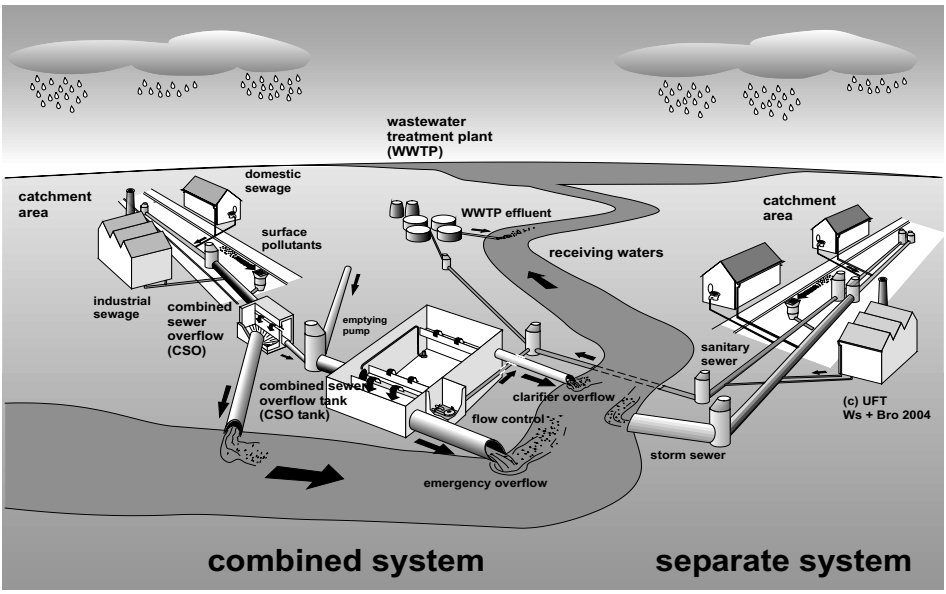


Fig. 1: Traditional combined and separate drainage systems

The traditional separate sewer system is also frequently used. It features two sewers, a sanitary sewer leading directly to the WWTP, and a storm sewer, frequently leading directly to the river without any stormwater treatment. Some stormwater treatment tanks (around 3.200 according to Brombach 2010) and very rarely also reed bed filters (some 100) are installed.

Modified drainage systems with local treatment, e.g. by soil passage, and infiltration are well suitable for new developments while a conversion of existing sewer systems is difficult. There is a wealth of recent publications on their advantages, so these systems are preferred today also for political reasons. In this context, also the classic separate system enjoys at present a big renaissance, while the combined system has lost reputation. In order to lead back the discussion on technical arguments, it is necessary to consider the amount of pollutants which are spilled into the river in any of these drainage systems. The simple approach shown in the following will balance both flow volumes and pollutant loads.

3. BALANCE OF WATER VOLUMES

Balances of the estimated runoff volumes for both sewer systems are shown in Fig. 2 and Fig. 3. The flow sources are domestic and industrial sewage, infiltration inflow (I/I), and stormwater. I/I is crystal-clear water from sewer leakages or basement drainages. Permanently flowing, it gives a considerable and non-negligible annual volume. Any infiltration of stormwater into the soil is not accounted for; all runoff finally reaches the receiving waters. For the basic data of the volume balance, values typical for a medium-sized urban catchment were chosen, see Weiss et al. (2001). All volumes are related to one hectare of impervious surface, which is indicated by the unit "ha_{imp}", and to one year.

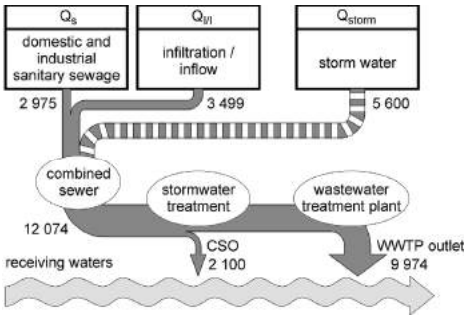


Fig. 2: Combined system (idealized) with mean runoff volumes in $m^3/(ha_{imp} \cdot a)$

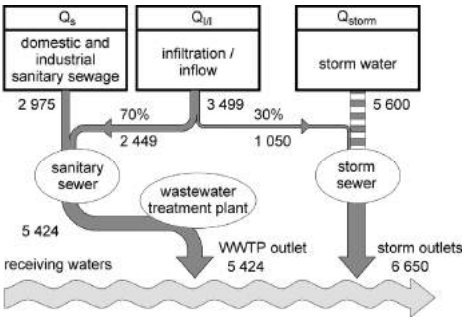


Fig. 3: Separate system (idealized), parameters comparable with Fig. 2.

A combined system featuring some 25 to 35 m^3/ha_{imp} of CSO tankage (typically for German systems) will usually release around 30 to 50 % of the annual storm runoff as non-treated combined sewage directly into the river via the overflow structures. In Table 1, a rate of 37.5 % is assumed.

For the separate system, the same basic flow volumes are assumed. All I/I will be drained by a combined sewer, while in a separate system, it is assumed that 70 % of I/I are entering the sanitary sewer and 30 % are drained by the storm sewer. This is a reasonable split since in Germany most houses have basement drainage and the sanitary sewer is laid at a deeper level than the storm sewer.

General catchment data:

domestic and industrial sanitary sewage		
population density	62,7	inh./ha_{imp}
water consumption	130	l/(inh.·d)
sewage volume	2.975	$m^3/(ha_{imp}·a)$
infiltration / inflow		
percentage of sewage flow	118	%
I/I volume	3.499	$m^3/(ha_{imp}·a)$
percentage of I/I flow in the sanitary sewer of the separate system	70	%
storm water		
annual rainfall	800	mm/a
rainfall forming runoff	70	%
effective rainfall	560	mm/a
storm runoff volume	5.600	$m^3/(ha_u·a)$

Combined sewer system:

combined sewer		
sewage volume	12.074	$m^3/(ha_{imp}·a)$
stormwater treatment		
rate of storm runoff spilled at CSOs	37,5	%
combined sewage, released to river	*2.100*	*$m^3/(ha_{imp}·a)$*
wastewater treatment plant		
treated sewage, released to river	*9.974*	*$m^3/(ha_{imp}·a)$*

Separate sewer system:

sanitary sewer		
sewage volume	5.424	$m^3/(ha_{imp}·a)$
storm sewer		
stormwater, released to river	*6.650*	*$m^3/(ha_{imp}·a)$*
wastewater treatment plant		
treated sewage, released to river	*5.424*	*$m^3/(ha_{imp}·a)$*

Table 1. Typical German average annual runoff volumes per hectare of impervious area

4. POLLUTANT CONCENTRATIONS AND LOADS

Pollutant loads are calculated simply by assumption of mean concentrations and multiplying them with the annual runoff volumes derived above. Table 2 shows the concentration data, taken from a comprehensive data base of worldwide data on measured pollutant concentrations; see ATV (2001) and Fuchs et al. (2004). The table shows also some mean effluent concentrations of German state-of-the-art biological WWTPs including nutrient elimination, taken from ATV (2003), NRW (2000) and UBA (2002). No distinction was made between treatment plants which serve mainly combined or separate sewer systems. WWTP outflow concentrations are assumed as 7.5 mg/l for TSS and near-zero for SS.

Median pollutant concentrations	TSS mg/l	SS ml/l	BOD mg/l	COD mg/l	TOC mg/l	P_{tot} mg/l	NH_4-N mg/l	NO_3-N mg/l
storm sewer, separate system, world	141,0	1,18	13,0	81,0	19,0	0,42	0,80	0,80
overflowing combined sewage, combined system, world	174,5	1,59	60,0	141,0	30,6	1,25	1,94	1,13
WWTP outflow (mean) Reference	7,5	0,0	5,0 ATV (2003)	32,0 ATV (2003)	9,2 NRW (2000)	0,8 ATV (2003)	2,0 ATV (2003)	7,8 NRW (2000)
		Ntot mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l
storm sewer, separate system, world		2,4	2,3	16,0	22,6	118	48,0	275
overflowing combined sewage, combined system, world		12,6	1,4	21,0	12,0	70	97,5	280
WWTP outflow (mean) Reference		9,0 ATV (2003)	0,2 UBA (2002)	3,0 UBA (2002)	7,8 UBA (2002)	2,6 UBA (2002)	12,4 UBA (2002)	46,7 UBA (2002)

Table 2: Median pollutant concentrations for some selected parameters

The resulting pollution load balance for the combined and separate sewer system is shown in Fig. 4. For better comparison, the ratio of loads was plotted rather than the absolute values. The total load of a separate system (storm outlets + WWTP) serves as 100 % for any parameter. The white columns in Fig. 4 represent the load by the treatment plant outflow. The following observations can be made:

The total **flow** volume to the receiving waters is, of course, equal for both systems, see the leftmost columns which both total 100%. However, it can be seen that in a combined system, nearly 80 % of all runoff is passing the treatment plant while this is less than 50 % in a separate system. Thus the load by the WWTP outflow is always larger in the combined system than in the separate.

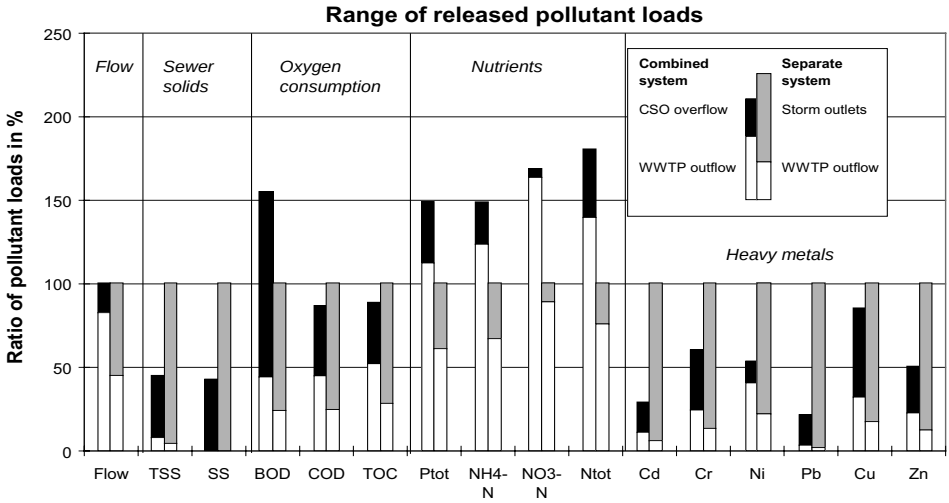


Fig. 4: Ratio of pollutant loads; all loads are standardized using the total load (storm outlets plus treatment plant outflow) from a separate system as 100 %. The white columns indicate the share of the WWTP outflow load.

For the total suspended and settleable **sewer solids**, TSS and SS, the combined system yields considerably smaller pollution loads. The WWTP works nearly ideally, the outflow loads are almost zero. – The parameters COD (chemical oxygen demand) and TOC (total organic carbon) show **oxygen consumption** by digestion of organic pollutants. Their total loads are slightly smaller in a combined system than in a separate. BOD (biological oxygen demand), however, shows the opposite behaviour. – The **nutrients** show an inhomogeneous behaviour. The fate of NH_4-N (ammonia), NO_3-N (nitrate) and N_{tot} (total nitrogen) is dominated mainly by nitrification and de-nitrification in the WWTP. The separate system seems to show advantages here, but the main nitrogen load is in both systems by the WWTP effluent, not by the storm outlets or CSOs. The P_{tot} (total phosphorus) load behaves in the same manner. Since more advanced process steps for P elimination are not yet installed at every German WWTP, the effluent has a considerable load. P loads in the sewage have been reduced somewhat by introduction of phosphate-free detergents some years ago. This has not been accounted for here.

Of all **heavy metals**, such as cadmium, chromium, nickel, lead, copper and zinc, a combined sewer system releases generally much smaller loads than a separate, e.g. for Pb and Cd, less than 30 %. Their main source is surface washoff with wear and tear of tyres, brake discs, etc., moreover metal roofs. Sanitary sewage contains generally only small amounts. Emission of heavy metals is a decisive disadvantage of the separate system which is usually underestimated. Heavy metals will also form a problem when alternative techniques such as infiltration are applied.

Not shown is the pollutant class of hydrocarbons. In a combined system, most traces of spills of gasoline or oil will go to the WWTP while in the separate system they should be removed by proper structure design. Another parameter skipped here are coliform bacteria from human faeces in combined sewage. In the USA, these are regarded as such problematic that combined systems are not allowed mainly because of this feature and disinfection units are used even in CSO structures. In Germany, the hygienic problem is important mainly in rivers which are used for bathing purposes.

5. CONSEQUENCES FOR AN EFFICIENT STORMWATER TREATMENT

Traditional stormwater treatment in the separate as well as in the combined system follows basically two strategies: Temporary storage of stormwater or combined sewage and treatment of overflowing water by sedimentation, or even by filtration e.g. in reed bed filters. In the combined system, one strategy to enhance stormwater treatment is to increase **storage** using large CSO tanks. They are empty in dry weather, fill up during a storm and are emptied again after the event. Many feeble rain events will fill up the tank, but will not cause overflow. Only during medium to strong storms, combined sewage will be released. It is obvious that the overflow volume and also the spilled pollutant load can be reduced by a large storage volume and/or by maximizing the flow to the WWTP. Increasing the flow, however, is only reasonable if the treatment plant is able to treat the maximum flow with full effect. Large storage will, on the other hand, increase the annual stormwater volume treated in the WWTP. From Fig. 4, some improvements can be estimated: The left columns are considered only (combined system). More storage will diminish the black (overflow) portion of each column while the white (WWTP outflow) will be enlarged. This strategy will be particularly efficient where large black portions in Fig. 4 are visible: for TSS and SS (the good efficiency will be increased even more) and also for BOD. For nutrients, this may be less pronounced – the main part of the load comes from the WWTP.

The other strategy, in both sewer systems, is some **treatment** of overflowing water. Of course, biological or other enhanced treatment like on the WWTP is not possible here. Satellite treatment requires rather simple techniques. The easiest treatment method is by pure sedimentation in a settling tank. Sludge is collected on the tank bottom. An enhanced sedimentation treatment of the overflowing water will affect the distribution of volumes to the river or to the treatment plant only to a minor account (but a structure for sedimentation will in most cases also provide some additional storage). It will mainly lessen the overflow load into the river. If we look again on Fig. 4, this is indicated in black or grey. Advances can be seen in particular for the separate system where the rather poor performance on TSS and SS removal and, especially, heavy metals will be improved greatly.

Under normal pH conditions, heavy metals are non-soluble and attached to settleable solids so that they can be removed by sedimentation treatment. An ideal stormwater treatment should be able to remove also very small particles. – A question neglected by this simple approach is what to do with the settled sludge in the tank: Is it fed to the WWTP or taken out locally? If a more detailed balance of pollutant loads is asked for, these pathways have to be considered.

Improvements in the performance of the treatment plant itself, e.g. on the removal of nutrients, are always positive. Generally stated, the better the WWTP, the better should also be the stormwater treatment in order to keep the column parts in Fig. 4 in a reasonable equilibrium. As long as there is no WWTP, in the extreme, there is no need for stormwater treatment either (safe discharge of large flows provided). However, if an up-to-date biological treatment plant is in operation, also good stormwater treatment structures are needed as well in the combined as in the separate system.

6. TREATMENT STRUCTURES AND EQUIPMENT

In Germany, a palette of standard structures has been developed in the past years of which only some typical ones can be introduced in this chapter for the sake of brevity. For a more complete overview, ATV-DVWK-M 176 (2001) is recommended which is a comprehensive design collection. The easiest CSO tank type is an oversized sewer providing the necessary volume, see Fig. 5. At the downstream end, a flow control device limits the flow to the WWTP. Any stormwater tank needs an emergency overflow to discharge large storm inflows. This is located at the upstream end (if located more downstream, large flows would have to pass the whole structure before being spilled at the overflow and sludge already deposited in the structure would be entrained). This kind of structure is used frequently in small catchments where the idea is also to capture any strongly polluted "first flush" (due to the entrainment of dry weather sewer deposits) at the beginning of a storm event.

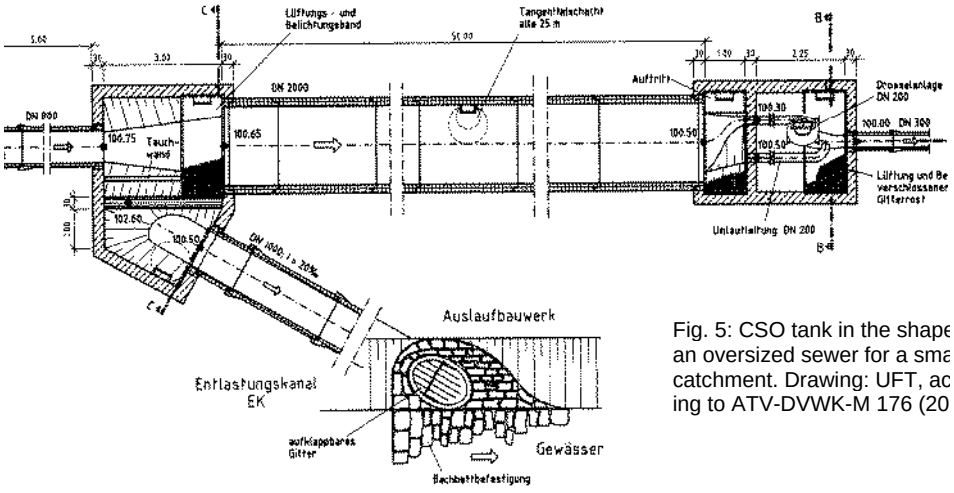


Fig. 5: CSO tank in the shape of an oversized sewer for a small catchment. Drawing: UFT, according to ATV-DVWK-M 176 (2001)

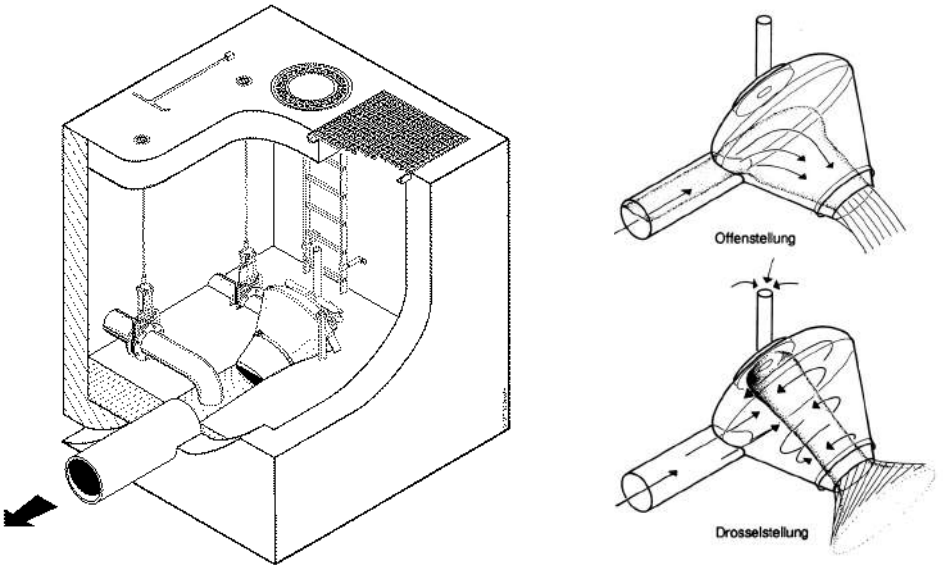


Fig. 6: Flow control chamber with vortex valve. Right: Operation phases of the flow control device

In front of the overflow weir is a scumboard for retention of floatables. As flow control device, a vortex valve is shown in Fig. 6. It does not feature any movable components and works with hydrodynamic effects only in order to obtain a large open cross section even with small flows. Thus, a vortex valve is rather insensitive to clogging. The minimum flow in combined sewage is 25 l/s for a DN 200 unit. In Fig. 6 also the operation phases of the device can be seen: at low flows, it works as an elbow with low hydraulic resistance in order not to cause backwater too early. At higher inflows, a vortex develops which provides the desired flow control effect.

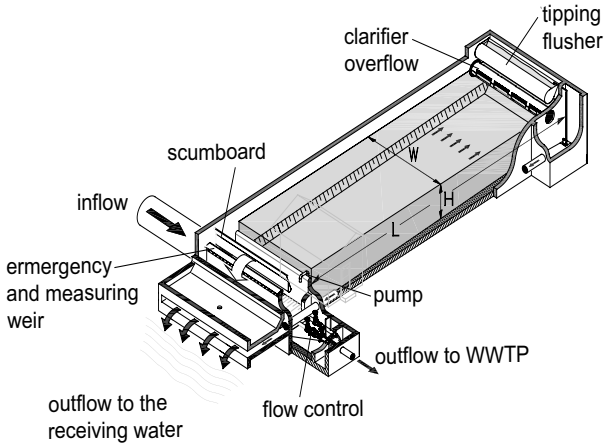


Fig. 7: Optimized design of a rectangular CSO tank featuring treatment by sedimentation, for the combined sewer system

The design of larger CSO tanks for treatment by sedimentation should ensure smooth parallel throughflow without hydraulic short-circuiting. A rectangular tank is shown in Fig. 7. The inflow fills up the sedimentation chamber as soon as it exceeds the setting flow of the flow control. Up to medium-intensity events, all storm water passes the tank via the clarifier overflow. Very large inflows during thunderstorms will be deviated by the emergency overflow.

After the end of the storm, the tank is automatically emptied to the WWTP. The sludge layer on the bottom is removed effectively by a tipping flusher: a steel trough which is filled with water and tipping automatically due to shift of its centre of gravity over the bearing axis. Note that the tank bottom may be placed at a deeper level than the offgoing pipe; this is called offline tank arrangement. In this case, an emptying pump feeds the tank contents (including the sludge during the flushing process) in front of the flow control intake.

A clarifier overflow is designed such that it provides some flow control effect. In the pipe-shaped clarifier overflow device shown in Fig. 9. The water is passing through a gap between a fixed ramp and a movable flexible sheet. With rising water level, this sheet is pressed towards the fixed ramp, yielding a slot which gets narrower as the water level rises. This yields a nearly constant outflow even if the water level is high in the case of a very strong storm and prevents sludge entrainment quite effectively. The excess inflow is spilled over the emergency overflow.

Fig. 8: Tipping flusher, trial run with sludge

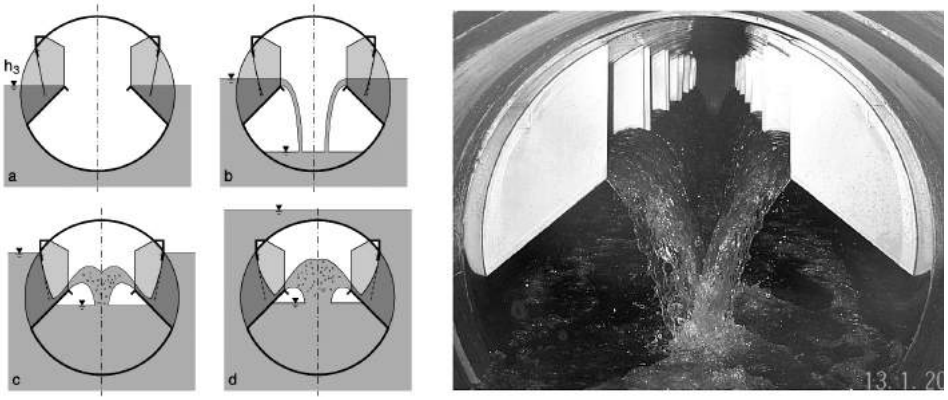


Fig. 9: Self-regulating clarifier overflow. Left: Working phases. Right: View during medium flow.

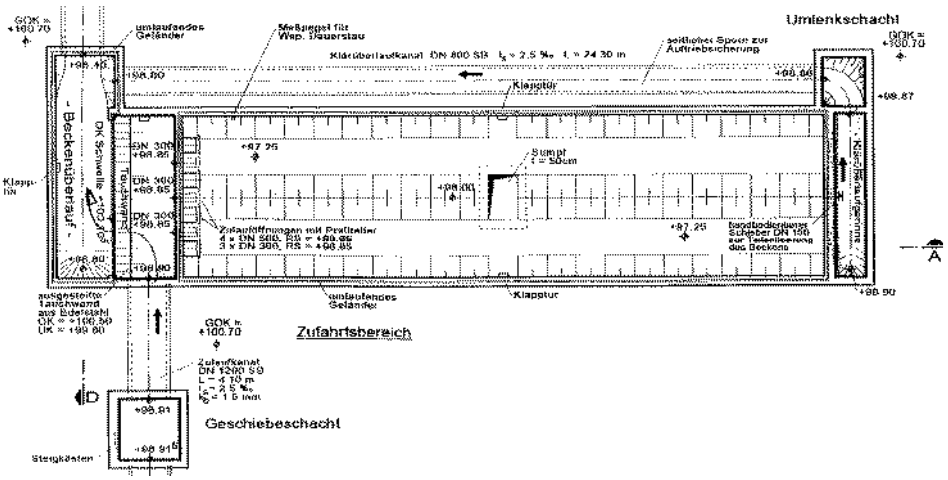


Fig. 10: Sedimentation tank for the separate sewer system. Drawing: Baden-Württemberg (2002).

In the separate system, treatment structures with permanent water filling were built according to Fig. 10. Recent investigations revealed the danger of resolving heavy metals from the sludge due to pH shifts, so today the tanks are emptied after the storm. The sludge is frequently fed to a WWTP by a sanitary sewer. Frequently, also open basins are used which serve also for flow retention. To prevent small creeks from large flow peaks is also important for good ecological quality, besides of the discussion on pollutant loads shown in this paper.

CONCLUSION

The present paper shows up a simple approach for a comparison of the traditional combined and separate drainage systems. It could be shown that the separate system is not automatically "the better one"; the performance depends strongly on the pollutants. For sludge, chemical oxygen demand and particularly for heavy metals, a typical separate system will release much larger loads than a combined system. The latter system is worse with respect to BOD and nutrients.

From this scheme, some conclusions could be drawn for an improvement of stormwater treatment. First is that stormwater treatment is necessary in any of these two traditional drainage systems. It must not be stated that the separate system is "clean" so that no treatment is necessary. An essential effect is temporary storage of stormwater which is particularly effective in the combined system since it increases the annual volume of combined sewage treated finally in the WWTP. The flow to the WWTP may not be increased easily since the design throughflow must not be exceeded.

The second decisive strategy is treatment of the stormwater by sedimentation. This technique is applied as well in the combined as in the separate system and will increase the performance. It is essential that well-designed structures are used. The paper gives some examples including also some equipment which is necessary for proper operation.

REFERENCES

[1] ATV (2001): ATV-DVWK Forschungsfonds 2001 – Projekt 1-01 – „Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen" (Excel-Dateien zum Download: *www.atv.de*)

[2] ATV (2003): Abbaugrade verstärken Aussagekraft. 15. ATV-DVWK-Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2002. *KA-Abwasser, Abfall* 50 (10), 2003

[3] ATV-DVWK-M 176 (2001): Hinweise und Beispiele zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung. ATV-DVWK-Merkblatt. Hennef: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.

[4] Baden-Württemberg (2002): Handbuch zur Ableitung und Behandlung von Straßenoberflächenwasser. Entwurf. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

[5] Brombach, H. (2010): Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland. *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* 57 (1): 28-36

[6] NRW (2000): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. Stand 2000. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; pdf–Dateien zum Download: www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/boden/ munlv_abwasserwirtschaft/

[7] Maleiner, F. (2010): Ločeni ali mešani sistem kanalizacije? Gradbeni vestnik, letnik 59, marec 2010, pp. 57-70

[8] UBA (2002): Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands. Texte 54/02, Umweltbundesamt, S. 22

[9] Brombach, H., Weiss, G., Fuchs, S. (2004): Combined or separate sewer systems? A critical comparison using a new database on urban runoff pollution. NOVATECH 2004, Lyon

[10] Fuchs, S., Brombach, H., Weiss, G. (2004): New database on urban runoff pollution. NOVATECH 2004, Lyon

AUTHORS

Gebhard Weiss
Bad Mergentheim

Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH, Steinstraße 7, 97980 Bad Mergentheim, Germany, uft@uft-brombach.de

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.15.

PRIMJENA TEHNOLOGIJA TREĆEG STUPNJA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA U HRVATSKOJ

Marko Brajković, Gorana Ćosić-Flajsig, Siniša Širac

SAŽETAK: Radom je opisana razina pročišćavanja komunalnih otpadnih voda u Hrvatskoj prikazom postojećih uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda i aglomeracija. Posebno su analizirani planirani uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda sa naglaskom na uređaje koji odgovaraju trećem stupnju pročišćavanja komunalnih otpadnih voda, odnosno kojima je prijemnik osjetljivo područje. Izrađen je pregled postojećih tehnologija pročišćavanja komunalnih otpadnih voda, i to: konvencionalne tehnologije pročišćavanja otpadnih voda s aktivnim muljem, kao i naprednijih tehnologija (MBR, SBR, C-Tech), s posebnim naglaskom na C-Tech tehnologiju pročišćavanja. Izrađena je usporedba C- Tech tehnologije s konvencionalnom tehnologijom pročišćavanja otpadnih voda s aktivnim muljem temeljem značajki tehnologija i troškova izgradnje, pogona i održavanja, te su predložene preporuke u smislu riješavanja tog iznimno zahtijevnog problema za Republiku Hrvatsku.

KLJUČNE RIJEČI: komunalne otpadne vode, uređaj za pročišćavanje, aglomeracije, treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda, C–Tech tehnologija pročišćavanja komunalnih otpadnih voda

IMPLEMENTATION OF TERTIARY WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN CROATIA

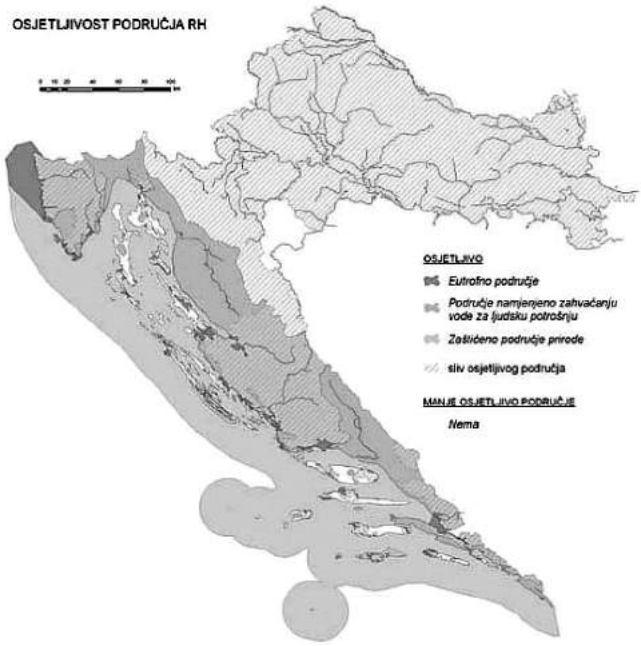
SUMMARY: The paper describes the levels of urban wastewater treatment in Croatia by giving an overview of the existing urban wastewater treatment plants and agglomerations and, in particular, by analyzing the planned urban wastewater treatment plants, with a focus on plants which correspond with tertiary urban wastewater treatment, i.e. whose receiving body is a sensitive area. An overview is prepared of the existing technologies of urban wastewater treatment, from conventional wastewater treatment technologies with active sludge to more advanced technologies (MBR, SBR, C-Tech), with a special emphasis on the C-Tech treatment technology. A comparison was made between the C- Tech and the conventional wastewater treatment technology with active sludge based on characteristics of the technologies and the costs of construction, operation and maintenance. Recommendations were given for solution of this exceptionally challenging problem in the Republic of Croatia.

KEY WORDS: urban wastewater, wastewater treatment plant, agglomerations, tertiary wastewater treatment, C–Tech urban wastewater treatment technology

1. UVOD

U lipnju 2010. godine Vlade Republike Hrvatske donijela je Odluku o određivanju osjetljivih područja, te je vodno područje crnomorskog sliva proglasila osjetljivim područjem radi zaštite delte rijeke Dunav od eutrofikacije. Na cijelom vodnom području planira se treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda, odnosno uklanjanje dušika i fosfora na svim aglomeracijama većim od 10.000 ES. Za aglomeracije od 2.000 do 10.000 ES primjenjivati će se drugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda.

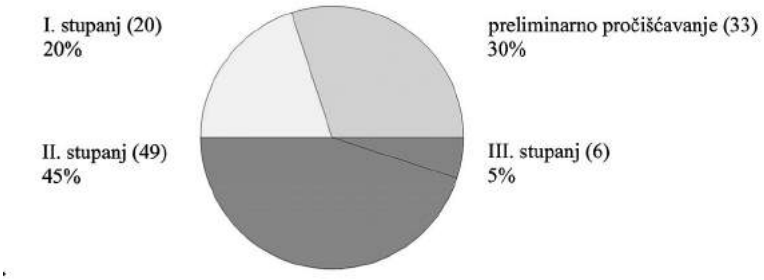
Vodno područje jadranskog sliva Republike Hrvatske proglašeno je u najvećoj mjeri osjetljivim područjem radi zaštite zaštićenih područja namijenjenih zahvaćanju vode za ljudsku potrošnju, postojanja eutrofnih cjelina, zaštićenih područja prirode, i primjenjivat će naprednije pročišćavanje s uklanjanjem dušika i fosfora u svim aglomeracijama većim od 10.000 ES za sva ispuštanja u kopnene vode ili u priobalno more.



Slika br. 1 Karta osjetljivosti područja Republike Hrvatske

2. POSTOJEĆE STANJE PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA U HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj postoji 108 uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, od čega 96 većih od 500 ES. Ukupni instalirani kapacitet je 3.801.310 ES, od čega se 1.200.000 ES, odnosno oko 32 %, odnosi se na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba.



Slika br. 2. Postojeće stanje pročišćavanja otpadnih voda u Hrvatskoj

Od 6 izgrađenih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda trećeg stupnja, uređaj u Kanfanaru (8.000 ES) još uvijek funkcionira kao samostalni uređaj za pročišćavanje tehnoloških otpadnih voda, iako se planira na njega priključiti i mjesne komunalne vode. Na uređaju u Koprivnici (100.000 ES) primjenjen je Sequencing Batch Reactor, (u daljnjem tekstu: SBR) postupak, dok je na ostalim uređajima riječ o Membrane Batch reactor, (u daljnjem tekstu: MBR) postupku pročišćavanja otpadnih voda. Uređaji su prvotno projektirani za drugi stupanj pročišćavanja a tek naknadno adaptirani za treći stupanj pročiščavanja otpadnih voda.

3. ANALIZA POTREBA ZA IZGRADNJOM TREĆEG STUPNJA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA KORIŠTENJEM NAPREDNIH TEHNOLOGIJA

Odabrana koncepcija identifikacije aglomeracija u Republici Hrvatskoj podrazumijeva da se područje jedne aglomeracije opslužuje s jednim sustavom javne odvodnje. Odvodnja 4.437.460 stanovnika Republike Hrvatske koji žive u ukupno 6.762 naselja može se organizirati sa 763 sustava javne odvodnje, odnosno 763 aglomeracije. Pri tome su samo 294 aglomeracije veće od 2.000 ES, a 62 aglomeracije imaju ispust u osjetljivo područje za koje se zahtjeva treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda.

Ukupni kapacitet planiranih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda sa trećim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda do kraja 2023. godine prema planu provedbe Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda *(91/271/ EEC)* iznosi 4.513.350 ES.

Planirani ukupni troškovi dogradnje postojećih uređaja prvog i drugog stupnja pročišćavanja otpadnih voda i izgradnje uređaja trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda, bez izgradnje i rekonstrukcije pripadajuće kanalizacijske mreže iznosi **450.116.476,00 €.**

Aglomeracija	Vrsta prijemnika	Ime prijamnika	Planirani kapacitet (ES)	Cijena izgradnje (€)	Aglomeracija	Vrsta prijemnika	Ime prijamnika	Planirani kapacitet (ES)	Cijena izgradnje (€)
Beli Manastir	vodotok	Karašica	16.000	2.585.000	**Krapina**	vodotok	Krapinica	21.200	5.259.000
Belišće	vodotok	Drava	240.000	6.395.000	**Križevci**	vodotok	Glogovnica	25.000	3.810.000
Bjelovar	vodotok	Bjelovarska	100.000	16.667.000	**Kutina**	vodotok	Kutinica	25.000	3.897.000
Čakovec	vodotok	Trnava	116.000	3.401.000	**Labin**	vodotok	Krapanj	15.000	1.497.000
Daruvar	vodotok	Toplica	50.000	9.184.000	**Lanterna**	more	zap.obala Istre	28.140	6.803.000
Dicmo	podzemlje	podzemlje	4.600	816.000	**Lipik-Pakrac**	vodotok	rukavac Ilida	20.000	2.041.000
Đakovo	vodotok	Ribnjak	35.000	6.122.000	**Knin**	vodotok	Orašnica	25.000	5.442.000
Donja Dubrava	vodotok	Drava	25.000	5.986.000	**Marina**	podzemlje	podzemlje	11.500	299.000
Drniš	vodotok	Čikola	10.000	3.088.000	**Metković**	vodotok	Neretva	20.000	5.442.000
Glavniščica	vodotok	Kašina	12.000	3.401.000	**Muć**	podzemlje	podzemlje	5.400	1.361.000
Greda	vodotok	Plitvica	5.500	2.721.000	**Mursko Središće**	vodotok	Mura	19.000	5.986.000
Imotski	vodotok	Glavina	33.000	6.735.000	**Našice**	vodotok	Našička Rijeka	20.000	2.721.000
Ivanec	vodotok	Bednja	16.000	4.762.000	**Nova Gradiška**	vodotok	Šumetlica	30.000	6.122.000
Ivanić Grad	vodotok	Lonja	20.000	2.041.000	**Novi Marof**	vodotok	Bednja	12.000	3.401.000
Jastrebarsko	vodotok	Sabirni kanal	14.000	2.721.000	**Novigrad Istarski**	more	zap.obala Istre	33.000	7.402.000
Karlovac D. Resa	vodotok	Rijeka Kupa	100.000	14.966.000	**Novska**	vodotok	Novska	13.000	3.624.000
Ogulin	podzemlje	podzemlje	12.000	4.082.000	**Varaždin**	vodotok	Drava	210.000	20.408.000
Osijek	vodotok	Drava	250.000	31.020.000	**Velesevec**	vodotok	Sava	22.700	4.762.000
Petrinja	vodotok	Kupa	30.0250	4.490.000	**Velika Gorica**	vodotok	Sava	90.000	11.156.000
Pleternica	vodotok	Orljava	15.000	2.993.000	**Vinkovci**	vodotok	Bosut	63.000	4.082.000
Plitvička jezera	vodotok	Korana	15.000	5.442.000	**Virovitica**	vodotok	Manteč	25.000	4.762.000
Poreč - Jug	more	zap. obala Istre	54.810	14.348.000	**Vrbovec**	vodotok	Luka-Lonja	30.000	6.122.000
Poreč - Sjever	more	zap. obala Istre	29.300	7.066.000	**Vrgorac**	podzemlje	podzemlje	6.000	680.000
Požega	vodotok	Orljava	67.000	8.163.000	**Vrsar**	more	zap.obala Istre	22.750	3.716.000
Rovinj	more	zap. obala Istre	64.900	11.837.000	**Vukovar**	vodotok	Dunav	60.000	10.476.00
Rugvica	vodotok	Sava	50.000	8.844.000	**Zabok**	vodotok	Krapina	35.000	12.245.000
Samobor	vodotok	Rakovica	40.000	6.395.000	**Zagreb**	vodotok	Sava	1.500.000	47.347.000
Savudrija	more	zap. obala Istre	32.400	8.334.000	**Zaprešić**	vodotok	Sava	115.000	15.374.000
Sinj	vodotok	Cetina	30.000	2.721.000	**Županja**	vodotok	Sava	20.000	5.850.000
Sisak	vodotok	Sava	60.000	10.884.000	**Slatina**	vodotok	Kurjakuša	34.500	4.762.000
Skradin	vodotok	Krka	3.400	680.000	**Slavonski Brod**	vodotok	Sava	100.000	16.246.000

Tablica 1: Planirani uređaji za pročišćavanje otpadnih voda trećeg stupnja u Hrvatskoj

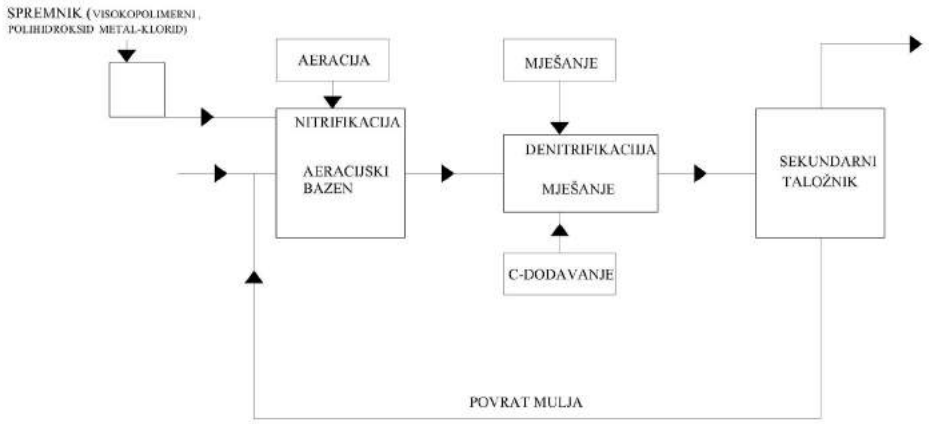
4. PREGLED POSTOJEĆIH TEHNOLOGIJA TREĆEG STUPNJA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA U HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj, tehnološki gledano, uređaji sa drugim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda uglavnom su konvencionalni biološki uređaji sa aktivnim muljem. U novije vrijeme grade se SBR uređaji. U Hrvatskoj, treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda ima svega 6 uređaja, od čega su 2 kapaciteta većeg od 2.000 ES. Uređaj u Kanfanaru (8.000 ES) primjenjuje Membranski šaržni reaktor (MBR) za pročišćavanja otpadnih voda, a na uređaju u Koprivnici (100.000 ES) primjenjen je postupak putem Postupnog šaržnog reaktora

Ostala 4 uređaja sa trećim stupnjem pročišćavanja sa MBR tehnologijom pročišćavanja otpadnih voda su sljedeći uređaji:

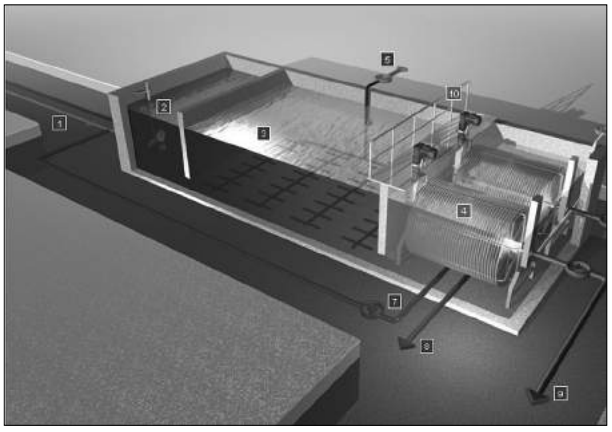
- Perušić kapaciteta 1.200 ES
- Sv Lovreč kapaciteta 400 ES
- Gračišće kapaciteta 265 ES
- Oprtalj kapaciteta 200 ES.

KONVENCIONALNA TEHNOLOGIJA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA



Slika br. 3: Shema konvencionalne tehnologije pročišćavanja (primjena III stupnja)

MBR TEHNOLOGIJA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA



1. Ulaz otpadnih voda
2. Spremnik za denitrifikaciju s propelerom za mješanje
3. Spremnik za aeraciju sa difuzorima (puhala zraka)
4. Vakumska rotaciona membrana – bioreaktor u spremniku za filtarciju
5. Puhalo za aeraciju
6. Kompresor zraka
7. Povrat mulja
8. Višak mulja na daljnju obradu
9. Čist i dezinficiran efluent pogodan za ponovnu uporabu
10. Zaštitna ograda

Slika br. 4: Shema MBR uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

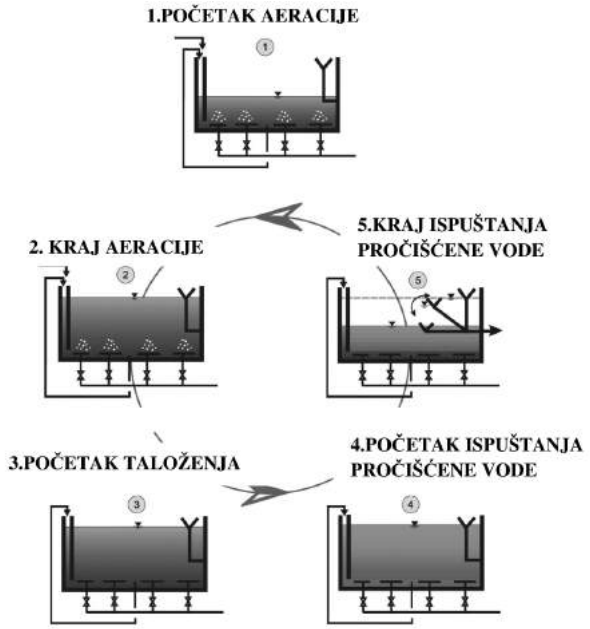
5. DISKONTINUIRANI TEHNOLOŠKI POSTUPAK C - Tech

C-Tech pročišćavanje otpadnih voda je tehnološki postupak sa aktivnim muljem, koji radi u šaržnom režimu i poboljšani je SBR postupak. Aeracija i taloženje mulja događaju se u istom bazenu, ali sa vremenskim pomakom. Na osnovu ove tehnološke posebnosti, nisu potrebne sekundarne taložnice i zgrtači mulja.

Radni ciklus podijeljen je na slijedeće faze: Punjenje/Aeracija, Taloženje, Ispust pročišćene vode i Rezervno vrijeme

Ove faze čine jedan ciklus, koji se ponavlja. Na početku ovog ciklusa povećava se razina vode u bazenu zbog dotoka do maksimalno utvrđene razine. Aeracija i miješanje se u određenoj fazi zaustavljaju, kako bi se omogućilo stvaranje biomase (flokula), koje se talože u mirnim uvjetima.

Nakon razdoblja taloženja odvaja se pročišćena i izbistrena voda pomoću pokretne naprave (dekantera), do minimalno utvrđene razine vode. Nakon toga se ciklični postupak ponavlja.



Slika 5: Shema ciklusa C-tech procesa pročišćavanja otpadnih voda

AERACIJA

Za vrijeme aeracije vrši se istovremeno i punjenje bazena. Kod manjeg opterećenja uređaja moguće je preko centralne upravljačke jedinice smanjiti vrijeme dotoka, a time i postići ušedu energije. U zimskom razdoblju, kao i u početnoj fazi rada uređaja, predviđa se kraća faza po ciklusu.

TALOŽENJE

U ovoj fazi je isključena aeracija i dotok sirove otpadne vode, a ukupan dotok prebacuje

se u drugi bazen. U bazenu se stvaraju povoljni uvjeti taloženja, koji omogućuju odvajanje suhe tvari od tekuće komponente. Flokule mulja talože se i stvaraju sloj mulja koji se uguščuje, dok se iznad njega stvara sloj izbistrene vode.

ISPUST PROČIŠĆENE VODE

Za vrijeme ispusta pročišćene vode, također je zatvoren dotok sirove otpadne vode. Pokretan odtočni žlijeb spušta se većom brzinom po unaprijed zadanoj putanji, do razine vode koju signalizira osjetilo razine (nivo sonda). Nakon kontakta sa površinom vode brzina se reducira na normalnu brzinu poniranja. Tada, pročišćena voda teče slobodnim padom kroz odtočni žlijeb ("Dekanter") u odvodnu cijev. Kada je postignut minimalni nivo vode u bazenu, odtočni žlijeb vraća se u svoj prvobitan položaj.

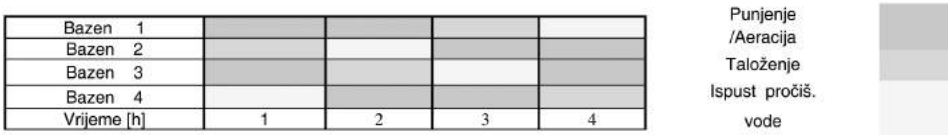
FAZA REZERVNOG VREMENA

U praksi ispust pročišćene vode traje najčešće kraće od teorijski mogućeg vremena. Ostatak vremena nazvano kao rezervno vrijeme bit će upotrijebljeno za punjenje bez aeracije. Ova faza započne 3 minute nakon što se odtočni žlijeb (Dekanter) vratio u svoj prvobitan položaj (upravljan osjetilom razine), a završava na kraju teoretski maksimalnog vremena ispusta pročišćene vode.

FAZA ODVIJANJA JEDNOG 4- SATNOG CIKLUSA

1.) punjenje / aeriranje	t_o - t_1
2.) punjenje / taloženje ili samo taloženje	t_1 - t_2
3.) odvajanje izbistrene vode	t_2 - t_3

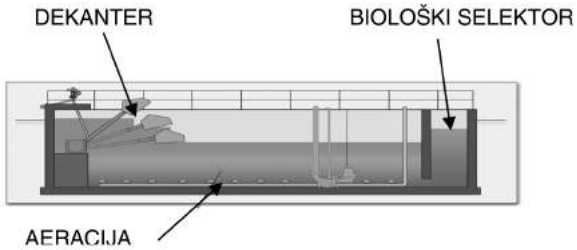
Punjenje/Aeracija	2 h
Taloženje	1 h
Ispust pročišćene vode	1 h
Ukupno	4 h



Iz ove sheme proizlazi, da se uvijek u fazi odvajanja nalazi jedan bazen, što znači da je odtok efluenta prilično konstantan. Ukupna odvodna cijev treba se postaviti i dimenzionirati na jedinstvenu količinu otpadne pročišćene vode. Istovremeno je vidljivo, da se ciklusi aeracije bazena 1 i 2 te 3 i 4 nikada ne preklapaju, tako da se za oba bazena koriste zajednička puhala (kompresori).

BIOLOŠKA OBRADA PREMA C-TECH TEHNOLOGIJI

C-Tech sustav se odnosi na obradu promjenjivog volumena, u kombinaciji sa Biološkim selektorom i Regulacijom potrošnje kisika.



Slika br. 6: Shematski prikaz presjeka C-TECH bazena

Osnovne karakteristike tehnologije navode se u nastavku:

ODTOČNI ŽLIJEB (DEKANTER)

Za vrijeme faze ispuštanja pročišćene vode nema dotoka u bazen. Odtočni žlijeb (Dekanter) pokretnog preljeva je na motorni pogon i kreće se polako od svog početnog položaja iznad vode do prethodno određene donje razine vode. Odtočni žlijeb (Dekanter) se vraća u svoj početni položaj obratnim kretanjem pogona. Pogon je određen frekvencijom okretaja, pa stoga bilo koja brzina kretanja može biti odabrana za bilo koji period kretanja, što nudi fleksibilnost za unutarnje preinake pojedinih faza (npr. u slučaju promjene hidrauličnog, odnosno organskog opterećenja).

ZONA BIOLOŠKOG SELEKTORA

Biološki selektor smješten na prednjem kraju reaktora sa recikliranjem mulja iz zone glavnog reaktora kako bi se spriječilo bubrenje / pjenjenje i omogućilo simultanu nitrifikaciju/denitrifikaciju (N/DN) i uklanjanje biološkog fosfora (Bio-P). Priključenje biološkog selektora unutar C-Tech sustava čini te sustave različitim od svih drugih tehnologija. Pojavom ovog procesa nestaje potreba za fazom bez-kisičnog miješanja (bez kisika) i ona je zamijenjena jednostavnom fazom punjenje-aeracija kako je opisano. Biološki selektor pojednostavljuje izvršavanje procesa i učinkovito izvršava biološku selekciju dominantnih mikroorganizama, koji formiraju nakupine pod svim opterećenjima, posebno pod onima manjim od predviđenog opterećenja.

REGULACIJA POTROŠNJE KISIKA (OUR)

Regulacija potrošnje kisika (**Oxygen Uptake Rate, u daljnjem tekstu: OUR**) u svrhu regulacije intenziteta aeracije i vremena prema stvarnim zahtjevima postupka, te za osiguranje simultane nitrifikacije i denitrifikacije.

Regulacija potrošnje kisika temelji se na on-line izmjerenim vrijednostima otopljenog kisika. Na taj način, metabolička aktivnost biomase se mjeri u bazenu u kojem se trenutačno odvija proces i dalje se koristi kao kontrolni parametar automatske regulacije trajanja aeracije i stupnja aeracije. Ova metodologija omogućava učinkovitu uporabu energije i mogućnost simultane nitrifikacije i denitrifikacije.Korištenjem regulacije potrošnje kisika (OUR) ostaruje se minimalno 15% uštede energije. Postupak s više unosa kisika će rezultirati u minimalnoj denitrifikaciji i gubitku kapaciteta biološkog odstranjivanja fosfora. Zamuljene otpadne vode su često posljedica prevelike aeracije u klasičnim sistemima.

USPOREDBA C-TECH SA KLASIČNIM SBR SUSTAVIMA

Simultana nitrifikacija / denitrifikacija N/DN omogućuje rad bez mješala Pogodna kontrola potrebe/dobave kisika pomoću regulacije potrošnje kisika (OUR) u kombinaciji s Biološkim selektorom omogućuje optimizaciju ovog procesa, Regulacija potrošnje kisika i odsutnost mehaničkih mješalica rezultiraju znatno manjom potrošnjom energije C-Tech u usporedbi sa klasičnim SBR sustavima. Izdvajanje vode iz otpadne vode bez krutih tvari, dekanter konstruiran da omogući spuštanje maks.vodnog lica pročišćene vode u bazenu za 2.5 m, dok kod SBR sustava dekanter je ograničen na spuštanje maks. vodnog lica pročišćene vode u bazenu za 1 m.

USPOREDBA C-TECH SA KONVENCIONALNIM SUSTAVIMA

Nema sekundarnog taložnika, ne koriste se mješači, smanjeno crpljenje povratnog mulja za posljedicu ima manje potrebe za strujom. Ušteda na troškovima struje i kemikalija. Zbog nekorištenja mnogih mehaničkih dijelova uređaja (zgrtači mulja, mješači) može se računati sa smanjenjem troškova održavanja, modularna izgradnja, smanjeni pogonski troškovi.

USPOREDBA TEHNOLOŠKOG C-TECH POSTUPKA I KONVENCIONALNOG POSTUPKA UREĐAJA GRADA KRAPINE

U nastavku se daje usporedba C-Tech postupka i konvencionalnog postupka na primjeru uređaja grada Krapine , kapaciteta 20 000 ES.

DIJELOVI UREĐAJA		C-TECH POSTUPAK	KONVENCIONALNI POSTUPAK
BIOLOŠKI BAZENI	m^3	-----	2.300
C-TECH BAZENI	m^3	2.551	-----
SEKUNDARNE TALOŽNICE	m^3	-----	3.432
UKUPNO	m^3	2.551	5.732
RELATIVNO	%	0,44	1,00

Tablica br. 2: Usporedba volumena bazena C- Tech i Konvencionalnog uređaja

U nastavku se daje usporedba potrošnje energije za liniju vode, za C-Tech tehnološki postupak i za konvencionalni tehnološki postupak.

C-TECH TEHNOLOŠKI POSTUPAK

Potrošači električne energije: aeracija (C TECH, pjeskolov), pumpe (ulazna crpna stanica, povrat mulja, višak mulja) preostali uređaji (fina rešetka, pokretna rešetka, uređaj za ispiranje pijeska, dekanter), potrošnja električne energije za C TECH iznosi 471.945 KWh/g

KONVENCIONALNI TEHNOLOŠKI POSTUPAK

Potrošaći električne energije: Aeracija (biološki bazeni, pjeskolov/mastolov), pumpe (ulazna crpna stanica, povrat mulja, višak mulja), preostali uređaji (fina rešetka, pokretna rešetka, uređaj za ispiranje pijeska, zgrtač kod sek. taložnice), potrošnja električne energije za C-Tech iznosi 492.750 Kwh/g C-Tech postupak ima nešto niže godišnje pogonske troškove (za 4,4 %).

Detaljna analiza C-Tech i konvencionalnog postupka, po svim relevantnim čimbenicima, za investicijske troškove, kao i pogonske troškove te troškove održavanja, dana je u tablicama 3-5.

INVESTICIJSKI TROŠKOVI					POGONSKI I TROŠKOVI ODRŽAVANJA		
OBJEKTI	Investicijska vrijednost (€)	Udio opreme (€)	Građevinski dio (€)	Kontrola ukupno (€)	Troškovi	God. troš. (€/g)	30. god. troš. (€)
Pogonska zgrada	78.750	23.625	55.125	78.750	Inv.održavanje (građ. radovi)	26.736	802.080
Fina reš., kompaktor, ispiranje pijeska	40.005	24.003	16.002	40.005	Inv.održavanje (el.-stroj. oprema)	98.770	2,963.100
Pjeskolov/mastolov	23.310	9.324	13.986	23.310	El. energija	51.913	1,557.390
Ulazna crpna stanica	19.845	11.907	7.938	19.845	Osoblje	60.000	1,800.000
Biologija C-Tech	630.000	315.000	315.000	630.000	Kemikalije	38.325	1,149.750
Sekundarna taložnica	0	0	0	0	Ostaci (sa rešetke)	11.970	359.094
Crpna stanica-pov. mulj	15.120	9.072	6.048	15.120	Ostaci (otpadni mulj)	22.192	665.760
Aeracijski sustav	189.000	150.961	38.039	189.000	**UKUPNO :**	**309.906**	**9,297.180**
Zasuni, cjevovodi	176.400	141.120	35.280	176.400			
Mjerni uređaji	28.350	25.515	2.835	28.350			
Niskonaponska mreža	189.000	170.100	18.900	189.000			
Visokonaponska mreža	299.250	269.325	29.925	299.250			
Upravljanje	245.700	233.415	12.285	245.700			
Uređenje gradilišta	56.700	56.700	0	56.700			
Uguščivanje mulja	143.010	100.107	42.903	143.010			
Digestori	803.250	240.975	562.275	803.250			
Spremnik za plin	210.735	63.221	147.515	210.735			
Dehidracija mulja	163.800	131.040	32.760	163.800			
UKUPNO (I Etapa) :	**3.312.225**	**1.975.410**	**1.336.816**	**3.312.225**			

C tech - Troškovi pogona + održavanja po ES/god. = 15,49 €/god./ES (mjesečno : 1,29 €/mjesec/ES)

Tablica br.3: Procjena investicijskih,pogonskih i troškova održavanja za C-tech

INVESTICIJSKI TROŠKOVI					REKAPITULACIJA TROŠKOVA		
OBJEKTI	Investicijska vrijednost (€)	Udio opreme (€)	Građevinski dio (€)	Kontrola ukupno (€)	Troškovi	God. troš. (€god)	30. god. troš. (€)
Pogonska zgrada	90.000	27.000	63.000	90.000	Inv.održavanje (građ. radovi)	32.243	967.290
Fina reš., kompaktor, ispiranje pijeska	45.720	27.432	18.288	45.720	Inv.održavanje (el.-stroj. oprema)	117.301	3,519.030
Pjeskolov/mastolov	26.640	10.656	15.984	26.640	El. energija	54.202	1,626.060
Ulazna crpna stanica	22.680	13.608	9.072	22.680	Osoblje	60.000	1,800.000
Biologija	648.000	324.000	324.000	648.000	Kemikalije	38.325	1,149.750
Sekundarna taložnica	166.320	66.528	99.792	166.320	Ostaci (sa rešetke)	11.970	359.094
Crpna stanica-povratni mulj	43.200	25.920	17.280	43.200	Ostaci (otpadni mulj)	22.192	665.760
Aeracijski sustav	198.000	158.269	39.731	198.000	**UKUPNO :**	**336.233**	**10,086.990**
Zasuni, cjevovodi, armature	259.200	207.360	51.840	259.200			
Mjerni uređaji	28.800	25.920	2.880	28.800			
Niskonaponska mreža	216.000	194.400	21.600	216.000			
Visokonaponska mreža	342.000	307.800	34.200	342.000			
Upravljanje	280.800	266.760	14.040	280.800			
Uređenje gradilišta	72.000	72.000	0	72.000			
Uguščivanje mulja	172.800	120.960	51.840	172.800			
Digestori	918.000	275.400	642.600	918.000			
Spremnik za plin	240.840	72.252	168.588	240.840			
Dehidracija mulja	187.200	149.760	37.440	187.200			
UKUPNO (1. modul) :	**3.958.200**	**2.346.025**	**1.612.175**	**3.958.200**			

Konvencionalni - Troškovi pogona+održavanja po ES/god. = 16,82 €/god./ES (mjesečno : 1,40 €/mjesec/ES)

Tablica 4: Procjena investicijskih,pogonskih i troškova održavanja za konvencionalni uređaj

Tehnološki postupak	Investicijski troškovi (€)	Pogonski troškovi (€ / god.)
C – TECH	3,312.225 (1,00)	309.906 (1,00)
KONVENCIONALNI	3,958.200 (1,19)	336.233 (1,084)

Tablica br. 5: Rekapitulacija ukupnih troškova uređaja konvencionalne i C-Tech tehnologije

Iz navedene analize i komparacije dva tehnološka postupka proizlazi da je C-TECH postupak povoljniji u pogledu investicije za 19 % (645.975 €), a kod pogonskih troškova za 8,04 % (26.327 €/god).

6. KRITERIJI I SMJERNICE ZA PRIMJENU C-TECH TEHNOLOGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

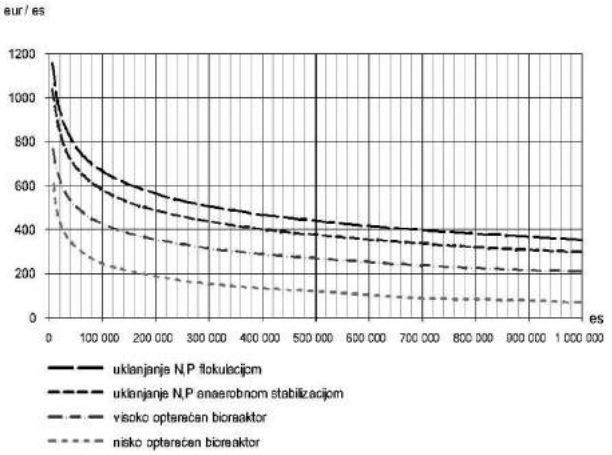
Sljedeći kriteriji ukazuju na značajne prednosti prilikom odabira C Tech tehnologije:

- potrebna površina za uređaj je manja jer nema sekundarne taložnice što je iznimno važno u urbaniziranim područjima,
- mogućnost primjene kod različito opterećenih otpadnih voda obzirom da C - Tech tehnologija koristi biološki selektor i
- procijenjeni investicijski, pogonski i troškovi održavanja po ES u odnosu na veličinu uređaja (Dijagram br.1. i Dijagram br.2).

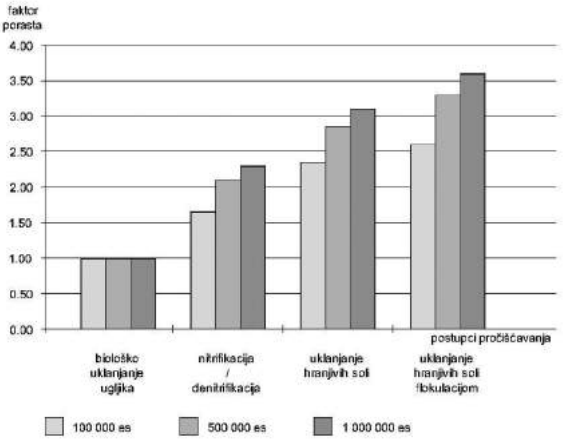
Predlažu se sljedeće smjernice prilikom odabira naprednijih tehnologija kao optimalne varijante:

- provesti ekonomsku i tehničku analizu razmatranih varijanti odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u sklopu izrade studije utjecaja na okoliš i izrade studije izvodljivosti i
- u sklopu izrade dokumentacije za ishođenje integralne okolišne dozvole (prema IPPC direktivi) nužno je analizirati sve tehnologije i primijeniti najbolju raspoloživu tehniku.

Najbolje raspoložive tehnike utvrđene su prihvaćanjem europskog zakonodavstva zaštite okoliša a podrazumijevaju: sve tehnike, uključujući tehnologiju, planiranje, izgradnju, održavanje, rad i zatvaranje pogona, koje su primjenjive u praksi pod prihvatljivim tehničkim i ekonomskim uvjetima, te su najučinkovitije u postizanju najvišeg stupnja zaštite okoliša kao cjeline.



Dijagram br. 1: Funkcije prosječnih investicijskih troškova za različite učinke pročišćavanja



Dijagram 2 : Faktor porasta investicijskih troškova kod povišenih učinaka pročišćavanja

U Dijagramu br. 1 prikazana je cijena pročišćavanja po ekvivalentnom stanovniku za određeni stupanj pročišćavanja prema veličinama uređaja za pročišćavanje. Investicijski troškovi po ES za uređaj od 100 000 ES sa II stupnjem pročišćavanja iznosili bi oko 250 €/ES, dok za isti uređaj sa III stupnjem investicijski troškovi rastu na oko 650 €/ ES.Dijagram 2 prikazuje faktore porasta investicije za određene stupnjeve pročišćavanja prema veličini uređaja. Za uređaj od 100 000 ES sa III stupanjem pročišćavanja investicijski troškovi rastu 2,5 puta u odnosu na uređaj iste veličine sa II stupnjem pročišćavanja (Dijagrami 1 i 2 - podaci SFC-a Austrija).

ZAKLJUČAK

U lipnju 2010. godine Vlade Republike Hrvatske donijela je Odluku o određivanju osjetljivih područja, na kojima se planira izgradnja trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih

voda. U Hrvatskoj postoji 108 uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, od kojih je sa trećim stupnjem svega 6 uređaja za pročišćavanje, a od tih 6 uređaja samo su 2 kapaciteta većeg od 2.000 ES. Prema podacima Hrvatskih voda, u Hrvatskoj su ukupno 63 aglomeracije koje imaju ispust u osjetljivo područje te se za njih zahtijeva treći stupanj pročišćavanja voda. Dogradnja postojećih uređaja prvog i drugog stupnja i izgradnja uređaja za pročišćavanje sa trećim stupnjem procjenjuje se na cca 450.116.476,00 €, bez rekonstrukcije i izgradnje kanalizacijskog sustava.

Prilikom dogradnje trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda postojećih uređaja, najzastupljeniji su konvencionalni uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda.

Izgradnja novih uređaja trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda najčešće će se provoditi korištenjem SBR, MBR tehnologija pročišćavanja komunalnih otpadnih voda. C – Tech tehnologija pročišćavanja komunalnih otpadnih voda je poboljšani SBR postupak, a korištenjem navedene tehnologije nisu potrebne sekundarne taložnice i zgrtači mulja. Osim smanjenih investicijskih troškova, ova tehnologija ima prednosti u pročišćavanju otpadnih voda primjenom biološkog selektora putem pripreme mikroorganizama na trenutni sastav otpadne vode, te manje pogonske troškove upotrebom regulacije potrošnje kisika, odnosno smanjena potrošnja električne energije. Prednosti za primjenu C-tech tehnologije su investicijski i pogonski troškovi koji su manji od konvencionalne tehnologije pročišćavanja za cca 20% investicijski, odnosno 10% pogonski troškovi. Obzirom na obvezu ispuštanja u osjetljivo područje, tehnologija treba biti koncipirana tako da pruža što kvalitetnije pročišćavanje sa što manjim troškovima, i to: investicijskim, pogonskim i troškovima održavanja. Investicijski troškovi rastu 2.5 puta ako se radi uređaji sa III stupnjem u odnosu na II stupanj pročišćavanja, primjerice: kod C Tech-a volumeni bazena dimenzionirani sa 150 l / ES /dan kod II stupnja, rastu na 220 l/ ES /dan kod III stupnja pročišćavanja. Uređaj grada Zaprešića (100 000 ES) projektiran je prema C Tech tehnologiji, ali je izgrađen samo preliminarni dio pročišćavanja. U Hrvatskoj se tek grade uređaji C - tech tehnologije, pa će prvi uređaji biti u općinama Ivankovo (8.000 ES), Otok (8.500 ES) i Cerna (6.000 ES) na području Vinkovaca. Izgradnja uređaja je planirana u 2011. godini te će se puštanjem u pogon moći testirati sve prednosti ili mane navedenih uređaja.

LITERATURA

[1] Aquacon d.o.o., *Studija utjecaja na okoliš kanalizacijskog sustava Krapine*, lipanj 2006, Zagreb

[2] Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda *(91/271/ EEC)*

[3] Ćosić-Flajsig G.: *Interna skripta kolegija Pročišćavanje otpadnih voda,* Tehničko Veleučilište u Zagrebu-Politehnički specijalistički diplomski stručni studij, 2009.-2010. g.

[4] Margeta, J.: *Kanalizacija naselja*, Split, Osijek 1998

[5] Odluka o određivanju osjetljih područja (NN 81/10)

[6] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (»NN« 087/2010)

[7] Tedeschi, S.: *Zaštita voda*, HDGI, Zagreb, 1997.

[8] Tušar, B.: *Pročišćavanje otpadnih voda*, Zagreb, rujan 2009

[9] http://www.ctechsbr.com/home.php

[10] Zakon o vodama (NN 153/2009)

NAPOMENA: Ovaj rad je nastao kao dio diplomskoga rada specijalističkog stručnog studija graditeljstva studenta Marka Brajkovića, ing. građ. izrađen na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, Graditeljski odjel, pod vodstvom mentorice mr. sc. Gorane Ćosić-Flajsig, v. predavača.

AUTORI:

Marko Brajković, struč.spec.ing.aedif [1]
mr.sc. Gorana Ćosić-Flajsig,v.predavač [2]
dr.sc. Siniša Širac, dipl.ing.kem.[3]

[1] PRONGRAD BIRO d.o.o. , Vrisnička 16, Zagreb, prongrad.biro@zg.t - com.hr
[2] Tehničko veleučilište u Zgarebu, Av.V.Holjevca 15, 10 000 Zagreb, gcflajsig@tvz.hr
[3] Hrvatske vode, Ul.grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, ssirac@voda.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.16.

BIOLOŠKO UKLANJANJE FOSFATA IZ OTPADNIH VODA – PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Tomislav Ivanković, Jasna Hrenović

SAŽETAK: Uklanjanje fosfata (P) iz otpadnih voda može se vršiti fizikalno-kemijskim i biološkim postupcima. U posljednjih tridesetak godina prednost se daje biološkom uklanjanju P iz otpadnih voda. Prednosti ovakve metode su općenito manji troškovi, visoka učinkovitost te umjerena produkcija mulja koji nije opterećen metalima Al i Fe ili vapnom.

Postupci koji su temeljeni na biološkom mehanizmu uklanjanja P su općenito poznati pod nazivom „poboljšano biološko uklanjanje fosfora“ (eng. Enhanced Biological Phosphorus Removal – EBPR). EBPR se temelji na sposobnosti nekih vrsta bakterija, takozvanih P-akumulirajućih bakterija, da u naizmjeničnim aerobnim i anaerobnim ili anoksičnim uvjetima iz otpadnih voda uzimaju veće količine P od onih koje su im potrebne za normalan rast i metabolizam. Tako su razvijene i razne procesne konfiguracije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koje omogućavaju uvjete potrebne za EBPR, kao što su Phoredox i Bardenpho.

Iako se proces EBPR uspješno provodi u sustavima za pročišćavanje voda širom svijeta, sami mehanizam, biokemijski procesi, pa i mikroorganizmi uključeni u ovaj postupak još uvijek su slabo istraženi i zato u mnogim slučajevima dolazi do smanjenog uklanjanja, pa čak i potpunog prestanka biološkog uklanjanja P, unatoč naizgled povoljnim uvjetima rada uređaja za pročišćavanje. Sva istraživanja vezana uz ovaj problem su dobrodošla jer će, u konačnici, dovesti do poboljšanja i stabilizacije procesa te omogućiti pouzdanije i ekonomski isplativije provođenje biološkog uklanjanja P iz otpadnih voda.

Najnovija istraživanja koja implementiraju napredne tehnike izolacije bakterija i molekularne metode, pokazuju da je u proces EBPR uključeno puno više vrsta mikroorganizama nego što se to isprva smatralo. Prepoznat je i negativan utjecaj takozvanih glikogen-akumulirajućih organizama, koji ne akumuliraju P, ali rastu u kompeticiji s P-akumulirajućim bakterijama i tako smanjuju njihov broj.

Novija istraživanja su usmjerena k recikliranju P iz mulja koji preostane u procesu EBPR i korištenju takvog mulja kao gnojiva, budući da je P vrijedna sirovina limitiranih rezervi. Tako su razvijene nove metode kao što je „Heatphos“ proces gdje se na povišenoj temperaturi oslobađa P uskladišten u bakterijskim stanicama i dobiva se P bogata sirovina nazvana biofosforit.

Buduća istraživanja usmjerena su izoliranju novih ili genetički unaprijeđenih postojećih

P-akumulirajućih bakterija, utvrđivanju biokemijskih procesa bitnih za EBPR i shodno tome optimiziranju rada uređaja za pročišćavanje. Važan je i ekonomski isplativi način recikliranja P iz otpadnih voda i implementacija u industriji gnojiva.

BIOLOŠKO UKLANJANJE FOSFATA IZ OTPADNIH VODA – PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

SUMMARY: Over the last thirty years, the process of enhanced biological phosphorus removal (EBPR) with advantages like high efficiency, lower cost and moderate production of sludge which is not polluted with Al, Fe or lime, is preferred over physico-chemical methods of phosphate (P) removal from wastewater.

The EBPR process is based on the ability of certain bacteria, called P-accumulating bacteria, to take up P from wastewater in amounts that excess their normal metabolic needs. This is carried out under alternating aerobic and anaerobic or anoxic conditions. Knowing that, various process configurations of wastewater treatment plants, such as Phoredox and Bardenpho, were developed.

Although EBPR process is successfully implemented in wastewater treatment plants all over the world, the exact mechanism, biological processes and even the microorganisms involved, are poorly known. For this reasons there are many cases of reduction or even total collapse of biological P removal, in spite of seemingly favorable operational conditions of treatment plants. Researches regarding these matters are welcomed for it will lead to improvement of biological P removal and ensure more efficient and economically feasible process implementation.

Latest researches, including advanced methods of bacterial isolation and molecular investigations, revealed that far more bacterial species are involved in EBPR then what was originally assumed. The negative influence of glycogen-accumulating organisms was recognized for these bacteria do not accumulate P, but they reside in competition with P-accumulating bacteria in EBPR systems, thus reducing its numbers.

Much of the research is headed in developing new methods of P recycling from sludge remaining from EBPR process, and implementing it into fertilizer industry, since P is a valuable asset with limited supply. For example, Heatphos process is based on heating the sludge that releases P stored inside bacterial cells which produces a P-rich material called biophosphorite.

Future researches are directed to isolation of new or genetic modification of present P-accumulating bacteria, determination of biochemical processes essential for EBPR and optimization of wastewater treatment plants accordingly. The new, economically more feasible ways of recycling P from wastewaters and implementation in fertilization industry are also of great importance.

1. UVOD

Fosfor je biogeni element potreban za život svih bića na Zemlji. Fosfati (P) u otpadne vode dolaze najvećim putem kao organski otpad iz prehrane ljudi i životinja, te u raznim kemikalijama i deterdžentima. Onečišćenje kroz ispiranje s poljoprivrednih površina, gdje se fosfor koristi kao gnojivo, je relativno malo u usporedbi sa onečišćenjem P sadržanim u komunalnim otpadnim vodama. Naselja prosječno ispuštaju u kanalizaciju 2-3 g ukupnog fosfora (T-P) po stanovniku na dan. Za grad veličine Zagreba (približno milijun stanovnika) to je 2-3 t T-P na dan. U gradskim otpadnim vodama T-P se uglavnom nalazi u obliku P, u koncentracijama od 10 mg L^{-1} ili manjim.

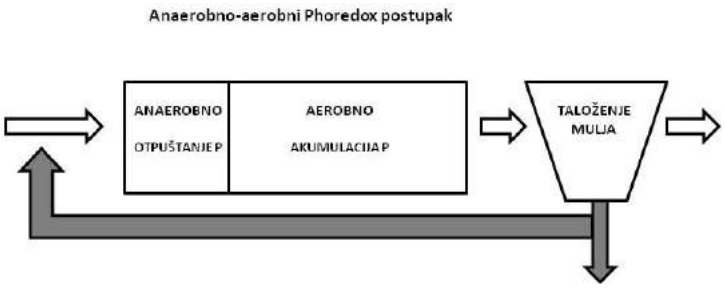
Povećani unos P u okoliš uzrokuje eutrofikaciju kopnenih vodenih površina i mora. Naime, u vodenim ekosustavima, P je hranjivo sa ograničenom opskrbom i kao takav je limitirajući čimbenik za rast i razvoj vodenih mikroorganizama. Povećana količina P dovodi do značajnog porasta biomase algi i fitoplanktona pa pretjerani rast algi i druge vodne vegetacije smanjuju prodor sunčeve svjetlosti u stupac vode i uzrokuje nedostatak kisika. Ovakvo stanje onemogućuje rast riba i drugih organizama u vodi, uzrokuje nepoželjan izgled i miris vode, te općenito smanjuje količinu vode uporabljive za kućanstvo, industriju, poljoprivredu i rekreaciju. Koncentracije koje premašuju 100 μg P L^{-1} u kopnenim vodama uzrokuju eutrofikaciju sustava.

2. BIOLOŠKO UKLANJANJE P

Uklanjanje P iz otpadne vode u sklopu trećeg stupnja pročišćavanja može se vršiti fizikalno-kemijskim i biološkim postupcima. Fizikalno-kemijski postupci uključuju adsorpciju, ionsku izmjenu, i precipitaciju teškim metalima (Al, Fe) ili vapnom. Od ovih postupaka najviše se koristi precipitacija. Precipitacija podrazumijeva uklanjanje P dodavanjem kemijskih sredstava, gdje nastaju netopive soli ($AlPO_4$, $FePO_4$) koje se talože i uklanjaju iz sustava. Ovaj postupak daje dobre rezultate, no negativne strane su visoka produkcija kemijskog mulja s visokim udjelom teških metala te visoki troškovi opskrbe kemikalijama i zbrinjavanja tako nastalog mulja. U posljednje vrijeme prednost se daje biološkom uklanjanju P iz otpadnih voda. Prednosti ovakve metode su općenito manji troškovi, visoka učinkovitost te umjerena produkcija viška mulja. Osim toga, biološki procesi su i ekološki prihvatljiviji od kemijskih procesa. Moguće je i korištenje mješovitog kemijsko-biološkog postupka.

Postupci koji su temeljeni na biološkom mehanizmu uklanjanja P su općenito poznati pod nazivom EBPR. Prije više od 40 godina EBPR je slučajno otkriven na sustavu za pročišćavanje gradskih otpadnih voda u Indiji, gdje je efluent iz uređaja korišten za natapanja rižinih polja. U nekim trenutcima, zbog nedostatka fosfora, riža nije rasla. Indijski znanstvenik E.G. Srinath sa suradnicima je primijetio da organizmi u aktivnom mulju uklanjaju veću količinu P iz otpadne vode od one koja je potrebna za osnovne metaboličke funkcije mikroorganizama prisutnih u mulju.

U daljnjim istraživanjima posebno važnim pokazao se rad južnoafričkog znanstvenika J.L. Barnarda tijekom 70-tih godina. On je ustanovio da je EBPR rezultat organizama u aktivnom mulju koji prolaze slijedom kroz anaerobnu i zatim aerobnu zonu. Ta opažanja dovela su do razvoja procesnih konfiguracija Phoredox (slika 1) i Bardenpho koji formiraju bazu svih procesa za biološko uklanjanje P u upotrebi danas (Barnard 1976).



Slika 1: Shematski prikaz anaerobno-aerobnog Phoredox postupka

3. BIOKEMIJSKI MEHANIZMI UKLANJANJA P IZ OTPADNE VODE

Proces EBPR se temelji na sposobnosti nekih vrsta bakterija, takozvanih P-akumulirajućih bakterija (PAB), da iz otpadnih voda uzimaju količine P koje su veće od količine koja im je potrebna za normalan rast i metabolizam. Ovo se postiže tretiranjem aktivnog mulja u sustavima za pročišćavanje izmjeničnim anaerobno-aerobnim uvjetima. Na taj način se postiže veća koncentracija PAB u odnosu na druge heterotrofne bakterije prisutne u aktivnom mulju, a što u konačnici dovodi do poboljšanog uklanjanja P. Uklonjeni P se akumulira unutar bakterijskih stanica u obliku netopljivih zrnaca poli-P i uklanja se iz sustava zajedno s bakterijskom biomasom.

U anaerobnoj zoni PAB uzimaju iz otpadne vode hlapljive masne kiseline koje im služe kao izvor ugljika i spremaju ih unutar stanica u obliku molekula poli-β-hidroksialkanoata (PHA). Ostale bakterije ne mogu koristiti ove tvari kao izvor ugljika. Za ovaj proces se troši energija koja je unutar stanica pohranjena u obliku poli-P. Na taj način dolazi do razgradnje molekula poli-P i dolazi do otpuštanja P u otpadnu vodu.

U aerobnoj zoni bakterije troše uskladištene PHA, a dobivena energija služi između ostalog i za obnavljanje zaliha poli-P u bakterijskim stanicama. Na ovaj način se uzima P iz otpadne vode i, što je bitno, u količinama koje su veće nego što ih je bakterija otpustila u otpadnu vodu u anaerobnoj zoni (Henze i sur. 2008).

4. MIKROBIOLOGIJA POBOLJŠANOG UKLANJANJA P

U prvim istraživanjima, klasičnim metodama uzgoja bakterija na krutim hranjivim podlogama, kao mikroorganizam odgovoran za proces EBPR određena je bakterija roda *Acinetobacter* (Fuhs i Chen, 1975). No kasnija istraživanja, koja su implementirala napredne tehnike molekularne biologije kao što su FISH (*Fluorescentna In-Situ Hibridizacija*) i mapiranje pomoću 16S rRNA, pokazala su veliku bioraznolikost PAB u aktivnom mulju laboratorijskih i realnih sustava za pročišćavanje (Seviour i sur. 2003). Rod *Acinetobacter*, za koji se smatralo da je najodgovorniji za EBPR, je korištenjem specifičnih FISH proba određen kao malo bitan i prisutan u malom broju u uređajima za pročišćavanje (Wagner i sur. 1994). Bakterije kao što su *Microlunatus phosphovorus* (Nakamura i sur. 1995), *Lampropedia spp*. (Stante i sur. 1997) i *Tetrasphaera spp*. (Maszenan i sur. 2000) su također izolirane i predložene kao modelni organizmi za EBPR, ali pokazalo se da ne posjeduju biokemijske osobine karakteristične za PAB (Seviour i sur. 2003) pa se ne mogu označiti kao odgovornim za ovaj proces.

U novijim istraživanjima pronađene su bakterije koje imaju biokemijski metabolizam karakterističan za PAB, a i prisutne su u značajnom broju u sustavima za pročišćavanje otpadnih voda. U prvom redu to je skupina bakterija koje se nazivaju *Acumulibacter* (Oehmen i sur. 2007) koje su nađene u velikom broju u laboratorijskim sustavima, a u realnim sustavima za pročišćavanje su prisutne u velikom postotku (4-22%) u odnosu na cjelokupnu bakterijsku populaciju. Pokazano je da učinkovitost nekoliko sustava za EBPR u Australiji korelira s količinom *Acumulibacter*-a u aktivnom mulju tih sustava (Saunders i sur. 2003). Može se reći da su bakterije roda *Acumulibacter* bitne za uspješan proces EBPR, ali ne i jedine odgovorne. Druge bakterije koje su također pokazale slična biokemijska svojstva i nađene su u sustavima za EBPR su *Actinobacteria*, *Alphaproteobacteria* i *Gammaproteobacteria*. Treba naglasiti da je sasvim valjano pretpostaviti da u tako bioraznovrsnom sustavu kao što je aktivni mulj postoje i bakterije koje nemaju biokemijske osobine karakteristične za PAB, ali su sposobne akumulirati P i pridonose uspješnom uklanjanju P iz otpadne vode.

U posljednje vrijeme puno pažnje se posvećuje identifikaciji tzv. glikogen-akumulirajućih organizama (GAO). To su bakterije koje imaju slične biokemijske osobine kao i PAB, ali nisu sposobne akumulirati P. Zbog svoje sličnosti one nastanjuju aktivni mulj s EBPR svojstvima i pokazuju negativan utjecaj na sam proces zato što smanjuju broj PAB u takvom mulju. Kada ove bakterije prerastu PAB onda može doći do potpunog raspada EBPR sustava (Oehme i sur. 2007). Neke od bakterija koje pripadaju ovoj skupini su *Competibacter* (Crocetti i sur. 2002) te pripadnici GAO *Alphaproteobacteria* (Oehme i sur. 2007). Zanimljivo je da su ove bakterije nađene u velikom broju u laboratorijskim sustavima, ali u jako malom broju u realnim sustavima za pročišćavanje otpadne vode s EBPR karakteristikama. Puno truda se ulaže u identifikaciju novih GAO jer bi oni mogli biti jedan od bitnih razloga za smanjenu učinkovitost sustava za uklanjanje P.

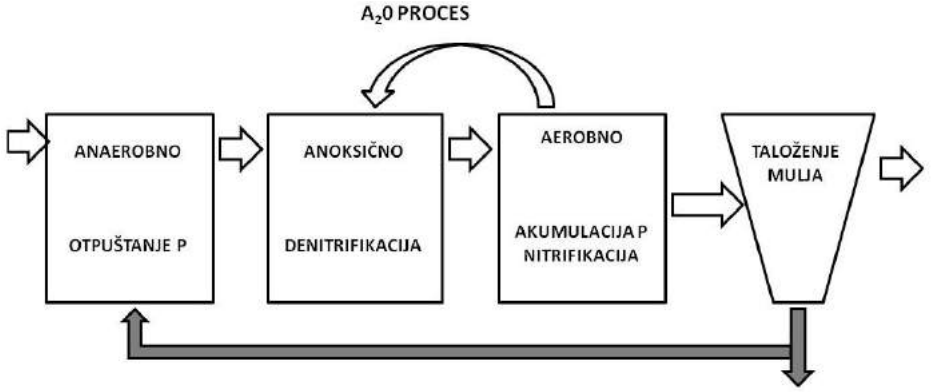
U ovom trenutku ne može se sa sigurnošću utvrditi koji organizmi provode EBPR u sustavima za pročišćavanje, a čak se ne može ni utvrditi točan biokemijski model koji bi pratili svi organizmi za koje je dokazano da mogu akumulirati P unutar svojih stanica. Zna se da je u ovaj proces uključeno više vrsta bakterija koje zajedničkim djelovanjem vrše uspješno uklanjanje P, a zna se da postoje i bakterije koje s njima rastu u kompeticiji i smanjuju učinkovitost EBPR procesa. Također su otkriveni načini kako vrsta hrane, temperatura ili vrijednost pH djeluju na populaciju PAB i GAB te se koristeći ta saznanja uspješno optimiziraju realni sustavi za EBPR.

5. KONFIGURACIJE SUSTAVA ZA POBOLJŠANO UKLANJANJE P IZ OTPADNE VODE

Prve konfiguracije sustava za EBPR su uključivale anaerobne i aerobne reaktore. No, s vremenom se otkrilo da se nekim promjenama u konfiguraciji sustava i uvođenjem novog, anoksičnog reaktora, može vršiti kombinirano uklanjanje P i dušika (N) iz otpadne vode. Dušik, u svim oblicima, kao amonijak (NH_4^+), nitrit (NO_2^-) i nitrat (NO_3^-) također nije poželjan u otpadnim vodama jer ima negativan utjecaj na vodne organizme. NH_4^+ putem nitrifikacije u aerobnim uvjetima bakterije pretvaraju u NO_X spojeve koje bakterije uklanjaju putem denitrifikacije u anaerobnim uvjetima. Procesom denitrifikacije nastaje N_2, plin koji nema štetno djelovanje. Uklanjanje N se vrši u anoksičnim uvjetima gdje

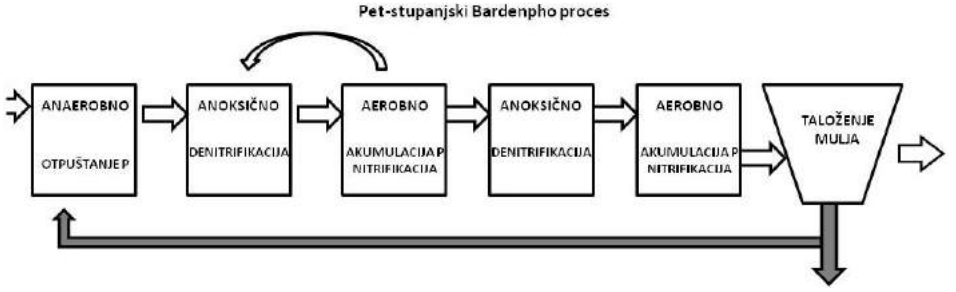
bakterije istovremeno rade i denitrifikaciju i akumulaciju P, a umjesto kisika koriste NO_X spojeve pa je potrebna manja aeracija u odnosu na klasične sustave za EBPR. Tako su ovi procesi i ekonomski prihvatljiviji zbog ušteda na aeraciji, ali i zbog smanjene produkcije mulja (Kuba i sur. 1994).

Klasični procesi s denitrifikacijom su A_2O, University of Capetown (UCT), i pet-stupanjski Bardenpho procesi. U A_2O procesu (Tchobanoglous i sur. 2002) su uzastopni anaerobni, anoksični i aerobni reaktor, s povratom mulja u anaerobnu zonu (slika 2). Negativna strana procesa je povrat mulja s NO_X direktno u anaerobnu zonu, što nože dovesti do pojačane denitrifikacije, a na taj način se gubi dio energije potrebne za rast PAB i uklanjanje P.



Slika 2: Shematski prikaz A20 procesa za kombinirano uklanjanje fosfata i dušika.

U pet-stupanjskom Bardenpho procesu (Tchobanoglous i sur. 2002) uveden je dodatni anoksični reaktor za denitrifikaciju (slika 3). Na ovaj način se minimalizira neželjena prisutnost NO_X u anaerobnom reaktoru.



Slika 3: Shematski prikaz pet-stupanjskog Bardenpho procesa za kombinirano uklanjanje fosfata i dušika.

U nekim konfiguracijama EBPR proces kombinira se biološko uklanjanje P s kemijskom precipitacijom. Postavke su takve da se iz anaerobnih reaktora odvodi supernatant ili mulj bogat P i onda se vrši kemijska precipitacija. Takvi sustavi su PhoStrip (Tchobanoglous i sur. 2002) i BCFS (biološko i kemijsko uklanjanje P i N) (van Loosdrecht i sur. 1998).

Prednost ovih postupaka je što se P precipitiran u obliku magnezijevog amonij-fosfata (struvit) može koristiti kao umjetno gnojivo. Na taj način se P koji je vrijedna sirovina može reciklirati iz otpadne vode. Ova tehnologija se već koristi u nekim postrojenjima za obradu otpadne vode (Ueno i Fujii, 2001; Battistoni i sur. 2006).

Istraživanja se rade i na upotrebi membranskih bioreaktora. U takvom sustavu se može vršiti uspješno uklanjanje P, ali i denitrifikacija. Prednost ovog procesa je što se upotrebom membrana znatno smanjuje količina suspendiranih čestica u efluentu (Lesjean i sur. 2002).

Veliki potencijal za uspješno uklanjanje P i N iz otpadnih voda pokazali su i bakterijski biofilmovi (Watanabe i sur. 1995; Gieseke i sur. 2002). Biofilm je sloj bakterija koji poraste na površini pogodnog materijala koji se onda naziva nosač bakterija. Bakterije imobilizirane u biofilmu pokazuju veću otpornost na negativne utjecaje karakteristične za pročišćavanje otpadnih voda te omogućuju veću gustoću željenih bakterija u bioreaktoru (Hrenović i sur. 2010a). Kao dobri nosači bakterija pokazali su se prirodni minerali koji pružaju pogodnu površinu za imobilizaciju bakterija, a svojom komercijalnom cijenom su ekonomski prihvatljivi (Ivanković i sur. 2010b; Hrenović i sur. 2009).

6. RECIKLIRANJE P IZ OTPADNE VODE

Osim precipitacije u obliku gore navedenog struvita, P iz otpadne vode može precipitirati kao hidroksiapatit (Nagamine i sur. 2003) ili adsorbirati na pogodne materijale kao što su šljaka iz metalurške industrije (Johansson i Gustafsson 2000). P se može dobiti i spaljivanjem mulja koji preostane iz EBPR postupka ukoliko nije opterećen velikom količinom teških metala (Schipper i sur. 2001).

Jedna od najnovijih metoda recikliranja P iz postupka obrade otpadne vode je Heatphos proces (Hirota i sur. 2010). Naime pokazalo se da se zagrijavanjem aktivnog mulja, koji je bogat P, na temperature preko 70°C u okolni medij otpuštaju zrnca poli-P iz bakterijskih stanica, bez da se naruše dobra taložna svojstva mulja. Pošto se u mediju nalaze poli-P moguća je vrlo dobra precipitacija kalcijevim kloridom ($CaCl_2$) što nije moguće ako se u mediju nalaze P, kao što je slučaj nakon anaerobne faze u EBPR procesu. Materijal koji nastaje precipitacijom se naziva biofosforit i sadrži znatne količine P (preko 15% masenog udjela). Heatphos proces je testiran u postrojenju za pročišćavanje otpadne vode punog opsega i pokazalo se da može biti ekonomski prihvatljiv. Zagrijavanje mulja se vrši pomoću metana proizvedenog u anaerobnom reaktoru, a energija se čuva izmjenjivačem topline. Postrojenje je obrađivalo oko 360 kg mulja bogatog P dnevno, i iz toga dobivalo oko 70 kg biofosforita na dan. P koji je dobiven iz otpadne vode u ovakvom obliku može se iskoristiti u industriji umjetnih gnojiva.

ZAKLJUČAK

Iako se o procesu EBPR puno toga zna, još uvijek se događa da, unatoč naizgled povoljnih uvjeta rada, dođe do potpunog „kolapsa“ biološkog uklanjanja P u postrojenjima za pročišćavanje otpadne vode. Novim saznanjima o bakterijama uključenim u ovaj proces i biokemijskim procesima bitnim za EBPR rad uređaja za pročišćavanje moći će se optimizirati i učiniti pouzdanijim, a omogućit će se novi i ekonomski isplativi načini recikliranja P iz otpadnih voda i implementacija u industriji umjetnih gnojiva.

LITERATURA

[1] Barnard J.L., 1976. A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process. Water SA 2, 136-144.

[2] Battistoni P., Paci B., Fatone F., Pavan P., 2006. Phosphorus removal from anaerobic supernatans: start-up and steady-state conditions of a fluidized bed reactor full-scale plant. Ind. Eng. Chem. res. 45, 663-669.

[3] Crocetti G.R., Banfield J.F., Keller J., Bond P.L., Blackall L.L., 2002. Glycogen-accumulating organisms in laboratory-scale and full-scale wastewater treatment processes. Microbiology 148, 3353-3364.

[4] Fuhs G.W., Chen M., 1975. Microbiological basis of phosphate removal in the activated sludge process for the treatment of wastewater. Microb. Ecol. 2, 119-138.

[5] Gieseke A., Arnz P., Amann R., Schramm A., 2002. Simultaneous P and N removal in a sequencing batch biofilm reactor: insights from reactor- and microscale investigations. Water Res. 36, 501-509.

[6] Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A., Brdjanovic D., 2008. Biological Wastewater Treatment – Principles, Modelling and Design. IWA Publishing, London, UK.

[7] Hirota R., Kuroda A., Kato J., Ohtake H., 2010. Bacterial phosphate metabolism and its application to phosphorus recovery and industrial bioprocesses. J. Biosci. Bioeng. 109, 423-432.

[8] Hrenovic J., Ivankovic T., Rozic M., 2010a. Requirement of *Acinetobacter junii* for magnesium, calcium and potassium ions. J. Biosci. Bioeng. 110, 180-186.

[9] Hrenovic J., Ivankovic T., Tibljas D., 2009. The effect of mineral carrier composition on phosphate-accumulating bacteria immobilization. J. Haz. Mat. 166, 1377-1382.

[10] Ivankovic T., Hrenovic J., L. Sekovanic, 2010b. Influence of the degree of perlite expansion on immobilization of *Acinetobacter junii*. Biochem. Eng. J. 51, 117-123.

[11] Johansson l., Gustafsson., 2000. Phosphate removal using blast furnace slags and opoka-mechanisms. Water Res. 34, 259-265.

[12] Kuba T., Wachtmeister A., van Loosdrecht M.C.M., Heijnen J.J., 1994. Effect of nitrate on phosphorus release in biological phosphorus removal systems. Water Sci. technol. 30, 241-252.

[13] Lesjean B., Gnirss R., Adam C., 2002. Process configurations adapted to membrane bioreactors for enhanced biological phosphorus and nitrogen removal. desalination 149, 217-224.

[14] Maszenan A.M., Seviour R.J., Patel B.K.C., Schumann P., Burghardt J., Tokiwa Y., Stratton H.M., 2000. Three isolates of novel poly-phosphate accumulating Gram-positive cocci, obtained from activated sludge, belong to a new genus, *Tetrasphaera* gen. nov., and description of two new species, *Tetrasphaera japonica* sp, nov and *Tetrasphaera australiensis* sp nov. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 50, 593-603.

[15] Nagamine S., Ueda T., Masuda I., Mori T., Sasaoka E., Joko I., 2003. Removal of phosphorus from wastewater by crystallization on the surface of macroporous TiO2 with a fibrous microstructure. Ind. Eng. Chem. Res. 42, 4748-4752.

[16] Nakamura K., Hiraishi A., Yoshimi Y., Kawaharasaki M., Masuda K., Kamagata Y., 1995. *Microlunatus phosphovorus* gen-nov, sp-nov, a new gram-positive polyphosphate-accumulating bacterium isolated from activated sludge. Int. J. Syst. Bacteriol. 45, 17-22.

[17] Oehmen A., Lemos P.C., Carvalho G., Yuan Z., Keller J., Blackall L.L., Reis M.A.M., 2007. Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale. Water Res. 41, 2271-2300.

[18] Saunders A.M., Oehmen A., Blackall L.L., Yuan Z., Keller J., 2003. The effect of GAOs (glycogen accumulating organisms) on anaerobic carbon requirements in full-scale Australian EBPR (enhanced biological phosphorus removal) plants. Water Sci. Technol. 47, 37-43.

[19] Schipper W.J., Klapwijk A., Potjer B., Rulkens W.H., Temmink B.G., Kiestra F.D., Lijmbach A.C., 2001. Phosphate recycling in the phosphorus industry. Environ. Technol. 22, 1337-1345.

[20] Seviour R.J., Mino T., Onuki M., 2003. The microbiology of biological phosphorus removal in activated sludge systems. FEMS Microbiol. Rev. 27, 99-127.

[21] Stante L., Cellamare C.M., Malaspina F., Bortone G., Tilche A., 1997. Biological phosphorus removal by pure culture of *Lampropedia* spp. Water Res. 31, 1317-1324.

[22] Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., 2002. Wastewater Engineering: treatment and reuse, fourth ed. Metcalf & Eddy Inc., McGraw-Hill Science Engineering, NY, USA.

[23] Ueno Y., Fujii M., 2001. Three years experience of operating and selling recovered struvite from full-scale plant. Environ. Technol. 22, 1373-1381.

[24] van Loosdrecht M.C.M., Brandse F.A., de Vries A.C., 1998. Upgrading of wastewater treatment processes for integrated nutrient removal-the BCFS (R) process. Water Sci. Technol. 37, 209-217.

[25] Wagner M., Erhart R., Manz W., Amman R., Lemmer H., Wedi D., Schleifer K.H., 1994. Development of a ribosomal-RNA-targeted oligonucleotide probe specific for the genus *Acinetobacter* and its application for in-situ monitoring in activated sludge. Appl. Environ. Microbiol. 60, 792-800.

[26] Watanabe Y., Okabe S., Hirata K., Masuda S., 1995. Simultaneous removal of organic materials and nitrogen by micro-aerobic biofilms. Water Sci. Technol. 40, 195-203.

AUTORI

Tomislav Ivanković, Jasna Hrenović
Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.17.

PROČIŠĆAVANJE OTPADNE VODE METODOM ELEKTROKOAGULACIJE

Elvira Vidović, Ante Jukić

SAŽETAK: Elektrokoagulacija (EC) je brza i jednostavna metoda obrade otpadnih voda širokih mogućnosti primjene gdje koagulat nastaje in situ elektrokemijskom oksidacijom odgovarajuće anode. Izostaje dodavanje metalnih soli ili polimera čemu se uobičajeno pribjegava kod razbijanja stabilnih emulzija, uklanjanja metala, koloidnih čestica, te topljivih anorganskih onečišćivala. U vlastitim istraživanjima EC je pokazala vrlo dobar učinak razbijanja svježih komercijalnih emulzija mineralnog ulja u vodi, veći od 95 % izraženo preko vrijednosti ukupnog organskog ugljika (UOU). Ustanovljeno je da, ako se manja jakost primijenjene struje kompenzira duljim trajanjem procesa, na kraju se postiže podjednaka vrijednost UOU što predstavlja prednost ove metode za slučaj njene primjene kao integralnog dijela obrade otpadnih voda. Kod svježe emulzije poliolefinskog sintetskog ulja u vodi nije postignuto zadovoljavajuće razdvajanje. Učinak za željezne elektrode iznosio je samo 6% dok uz aluminijeve elektrode nije zabilježeno razdvajanje.

Provedena je EC sa svrhom razbijanja rabljenih emulzija ulja u vodi, mineralne i sintetske osnove. Utvrđena je velika učinkovitost postupka kod razdvajanja rabljenih emulzija mineralnog ulja u vodi, a mala kod obrade emulzija sintetskog ulja poliolefinske osnove. Utvrđeno je da učinkovitost EC ovisi o vrsti anodnog materijala. Elektrode od željeza uglavnom pokazuju lošiju djelotvornost u odnosu na aluminijske, ali razlika nije značajna za emulzije mineralnih ulja.

KLJUČNE RIJEČI: elektrokoagulacija, pročišćavanje vode, emulzija, ulje, ukupni organski ugljik

PURIFICATION OF WASTE WATER BY ELECTROCOAGULATION METHOD

SUMMARY: Electrocoagulation (EC) is a quick and simple method of waste water treatment having wide application potential. Since the coagulating ions are produced ‘in situ’ by electrolytic oxidation of the metal anode in this method, the addition of metal salts or polymers, which is common procedure for the separation of stable emulsions, heavy metal removal, colloids, as well as soluble inorganic pollutants, can be omitted. According to our results, the EC shows very high efficiency of breaking commercial mineral oil in water emulsions, higher than 95 %, calculated via the total organic carbon (TOC) val-

ues. It was established that if weaker current is compensated with longer process duration, very close values of TOC are obtained at the end which presents a significant advantage of this method in case of its application as a part of an integral procedure of waste water treatment. In case of the synthetic polyolefinc oil in water emulsion the achieved separation was not good. Using iron electrodes only the 6 % removal efficiency was accomplished while if aluminum electrodes were used no separation appeared. Furthermore, EC process was performed for breaking of the oil (mineral or synthetic) in water emulsions that have been used previously. The efficiency of the method varied, where good effect was registered in case of breaking emulsion based on the mineral oil, and poor one for the emulsion of polyolefinc synthetic oil in water. Moreover, the EC method efficiency largely depends on the kind of anodic material. Thus, iron electrodes show mainly smaller efficiency compared to aluminum electrodes, but that deflection is not significant for mineral oil emulsion.

KEY WORDS: electrocoagulation, water purification, emulsion, oil, TOC

1. UVOD

Dostatna opskrba vodom postaje globalnim problemom našeg doba. Kvaliteta i dostupne količine vode su ugrožene povećanim zagađenjem industrijskim i poljoprivrednim otpadnim vodama kao i prirodnim procesima, te otpadnim vodama iz rastućeg broja kućanstava (WHO/UNICEF, 2010). Potreba za čistom vodom izražena je u slabo razvijenim zemljama koje nemaju ni dostatnu infrastrukturu ni sredstava za rješavanje problema vezanih za vodu, ali je prisutna i u razvijenim zemljama. Industrijske otpadne vode, ovisno o podrijetlu, odnosno industrijskoj grani iz koje potječu, se jako razlikuju prema prirodi i sadržaju onečišćenja. Premda je obrada otpadnih voda već dobro utemeljena inženjerska grana, javlja se potreba razvoja inovativnih, djelotvornijih i jeftinijih tehnika obrade vode. Poznat je veći broj tehnika obrade otpadnih voda koje uključuju različite fizikalno-kemijske procese koji podrazumijevaju dodatak kemikalija, kao i biološke procese denitrifikacije i uklanjanja fosfora. Brojne obećavajuće tehnike koje se temelje na elektrokemijskoj tehnologiji, a zahtijevaju minimum dodanih kemikalija se razvijaju, a već postojeće dorađuju i poboljšavaju. To su elektrokoagulacija, elektroflotacija, elektrodekantacija i sl. Prednosti tih tehnika su manji utjecaj na okoliš, ušteda energije i novca, sigurnost, selektivnost, laka mogućnost automatizacije, kontrolirane i brze reakcije, kompaktniji sustavi, te činjenica da se smanjuje upotreba kemikalija ili mikro-organizama.

Elektrokoagulacija kao jedna od učinkovitijih tehnika obrade otpadnih voda koristi se već u raznim industrijama, npr. obradi otpadnih voda koje sadrže teške metale, naftni otpad, tekstilna bojila, otpad iz proizvodnje polimera, nitrata itd, a postoje i neka istraživanja u smjeru korištenja elektrokoagulacije za obradu pitke vode (Holt i drugi, 2004; Mollah i drugi, 2004; Kashefialasl i drugi, 2006; Arslan i drugi, 1999; Nameri i drugi, 2001). Do sada je najviše proučavana primjena elektrokoagulacije za obezbojavanje obojene otpadne vode iz tekstilne industrije, kao i razbijanje stabilnih emulzija (Vidović i drugi, 2008; Adžamić i drugi, 2011). Emulzije ulja u vodi, tj. O/W emulzije široko se upotrebljavaju u metalo-prerađivačkoj industriji, budući da objedinjuju korisna svojstva hlađenja i čišćenja površina, zaštite od korozije i mazivosti (Pedišić, 2002). S vremenom, zbog izlaganja visokim radnim temperaturama, mehaničkim naprezanjima i mikroorgani-

zmima u okolišu, emulzije više ne zadovoljavaju postavljene zahtjeve i potrebno ih je na odgovarajući način zbrinuti. Pri tome se mora poštovati zakonodavstvo o zaštiti okoliša jer su otpadne emulzije otrovne zbog visokog sadržaja ugljikovodika, metala i drugih spojeva, kao što su emulgatori i različite površinski aktivne tvari, biocidi i inhibitori korozije.

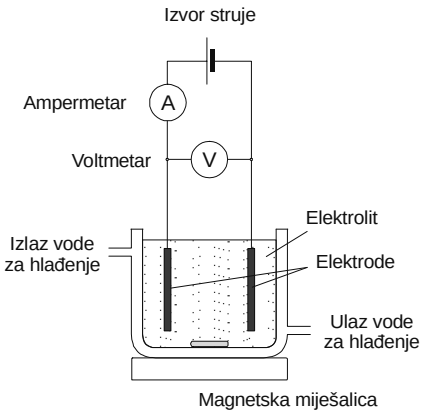
2. EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom je radu istraživana mogućnost obrade emulzija ulja u vodi, koje se upotrebljavaju pri obradi metala, metodom elektrokoagulacije. Sva su istraživanja bila primjenski usmjerena jer su korištene komercijalne emulzije od dva različita proizvođača. Ispitivane su svježe pripravljena emulzija iz koncentrata emulgirajuće tekućine za obradbu metala INA BU-7 (Maziva-Zagreb d.o.o.), te svježe i rabljene emulzije mineralnog i sintetskog ulja (Patting d.o.o., Varaždin):

- emulzija mineralnog ulja u vodi pripravljena iz komercijalnog koncentrata (ME1)
- emulzija mineralnog ulja (ME2) u vodi
- emulzija sintetskog ulja (SE) u vodi
- rabljene emulzije mineralnog (RME2) i sintetskog ulja (RSE) u vodi.

Procesi elektrokoagulacije provođeni su šaržno u elektrokemijskoj ćeliji (reaktoru) s jednim parom elektroda (Mollah i drugi, 2004), spojenima kako to pokazuje slika 1. U procesu su korištene metalne elektrode, željezove ili aluminijeve. Početnim emulzijama određene su vrijednosti pH, električne provodnosti i ukupnog organskog ugljika (UOU) (*engl.* total organic carbon, TOC). Ispitan je utjecaj jakosti struje i vremena na razdvajanje emulzije, a djelotvornost elektrokoagulacije praćena je određivanjem mase taloga, volumena filtrata, i ukupnog organskog ugljika u izdvojenoj vodenoj fazi. Masa uzoraka emulzija ulja u vodi bila je 75 g uz dodatak 0,8 mas.% NaCl u svim mjerenjima.

Za mjerenje pH vrijednosti i električne provodnosti otopina (κ) korišten je uređaj Handylab pH / LF 12. Sadržaj ukupnog organskog ugljika u uzorku određivan je na uređaju TOC-VCPN (Total Organic Analyzer, Shimadzu).



Slika 1. Shema aparature i električnog kruga za provedbu elektrokoagulacije.

U procesu elektrokoagulacije, kad se narine potencijal na metalne elektrode dolazi do dvije paralelne reakcije (Eyvaz i drugi, 2009):

ANODA: $M \rightarrow M^{z+}(aq) + z\ e^-$ (1)

KATODA: $z\ H_2O + z\ e^- \rightarrow z\ H_2 + z\ OH^-$ (2)

Ukupna reakcija: $M + z\ H_2O \rightarrow M(OH)_z + z/2\ H_2$ (3)

Masa metala koji se otapa tijekom elektrodne reakcije dana je Faradayevim zakonom (4):

$$Q = I_{teor} \times t = z \times n \times F = \frac{z \times F \times m_{teor}}{M} \quad (4)$$

gdje je Q električni naboj (C), I jakost struje (A), t vrijeme reakcije (s), z broj elektrona, n količina tvari (mol), m masa tvari (g), M molna masa (g mol^{-1}) i F Faradayeva konstanta (96485 C mol^{-1}).

Željezo ili aluminij se oslobađa s anode u obliku metalnih iona, koji hidroliziraju u željezove ili aluminijeve hidrokside. Ti hidroksidi su jako dobre koagulirajuće vrste. Zaparavo, nastajanje koagulanata *in situ* elektrolitskom oksidacijom "žrtvovane" elektrode je jedna od najvećih prednosti elektrokoagulacije nad koagulacijom. Paralelno s tom reakcijom dolazi i do elektrolize vode što znači da se oslobađaju mjehurići vodika na katodi (glavna reakcija) i mjehurići kisika na anodi (moguća sporedna reakcija), koji privlače flokulirane čestice te uzrokuju pojavu elektroflotacije.

3. REZULTATI

Jakosti struje pri kojima su provođeni postupci elektrokoagulacije bile su 0,1, 0,5 i 1,0 A, uz sljedeća vremena provedbe procesa za pojedine jakosti struje:

- pri 0,1 A 50 minuta
- pri 0,5 A 13 minuta
- pri 1,0 A 9 minuta

Dinamika procesa praćena je zatim po intervalima (koracima). Nakon provedbe svakog pojedinog koraka procesa elektrokoagulacije komercijalne emulzije mineralnog ulja u vodi (ME1) izmjerene mase taloga i volumeni filtrata dani su u tablici 1.

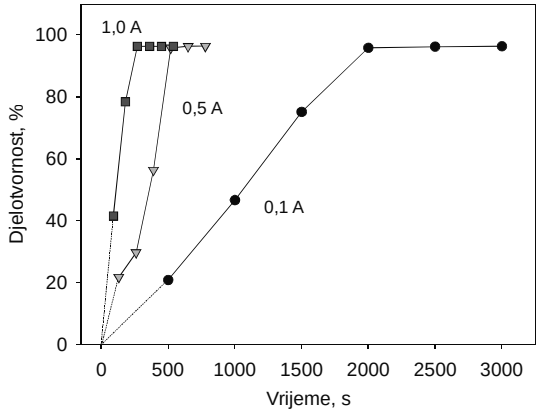
Jakost struje	**0,1 A**		**0,5 A**		**1,0 A**	
Korak	m_{taloga} / g	$V_{filtrata}$ / mL	m_{taloga} / g	$V_{filtrata}$ / mL	m_{taloga} / g	$V_{filtrata}$ / mL
1.	0,113	-	0,094	-	0,109	-
2.	0,125	-	0,158	-	0,446	-
3.	0,631	70,0	0,640	70,0	1,245	66,5
4.	1,175	68,0	1,250	66,5	1,302	64,5
5.	1,354	66,5	1,171	65,0	1,392	63,0
6.	1,413	64,5	1,179	58,0	1,300	61,0

Tablica 1. Mase taloga i volumeni filtrata izdvojeni nakon pojedinog koraka u ovisnosti o tri jakosti struje u procesu elektrokoagulacije mineralne emulzije ME1.

Masa osušenog taloga povećava se trajanjem procesa, pri čemu je kod sve tri struje zabilježeno naglo povećanje mase taloga u drugoj vremenskoj polovici procesa, kada dolazi do zamjetnijeg izdvajanja taloga, a time i mogućnosti njegovog potpunijeg uklanjanja. Sukladno, volumen filtrata se smanjuje s povećanjem vremena procesa. Obje veličine, po završnim vrijednostima, za sve tri ispitane struje su usporedive, a nastale razlike posljedica su eksperimentalnih uvjeta (razmjerno mala količina emulzije, razlike u kinetici nukleacije, koagulacije, taloženja i flokulacije, raspodjeli veličina čestica). Također, određen je sadržaj ukupnog organskog ugljika za svaki pojedini korak, kao i početna vrijednost UOU u emulziji ME1. Ukupni organski ugljik s početne vrijednosti od 14520 mg L^{-1} smanjuje se na oko 530 mg L^{-1}, za sve tri ispitane jakosti struje. Djelotvornost procesa elektrokoagulacije za uklanjanje organskih tvari iz emulzije s vodom izraženo preko UOU, može se prikazati kao:

$$\text{Djelotvornost} = 100 \times (UOU_0 - UOU_E) / UOU_0 \qquad (5)$$

gdje je UOU_0 – ukupni organski ugljik na početku procesa, a UOU_E – ukupni organski ugljik po završetku procesa. Na slici 2 prikazana je djelotvornost procesa elektrokoagulacije u ovisnosti o vremenu i jakosti primijenjene električne struje. S povećanjem jakosti struje smanjuje se vrijeme potrebno za završetak procesa. Budući da se djelotvornost procesa ne mijenja značajno s promjenom jakosti struje, na jednostavan način može se upravljati kinetikom procesa i potrošnjom električne energije. Slika 3 prikazuje razbijanje emulzije ME1 procesom elektrokoagulacije po koracima, u kojemu na kraju zaostaje bistra, bezbojna i bezmirisna vodena otopina.



Slika 2. Djelotvornost procesa elektrokoagulacije za uklanjanje ukupnog organskog ugljika iz emulzije ME1 u ovisnosti o vremenu i jakosti primijenjene električne struje.

U tablici 2 dane su vrijednosti pomoću kojih se može pratiti učin procesa elektrokoagulacije na svježe i rabljene komercijalne emulzije mineralnog ulja (ME2) i sintetskog ulja (SE) u vodi. Uzorci su označeni tako da prva dva slova označavaju materijal elektrode (Fe / željezo, Al / aluminij), druga dva slova su oznaka emulzije (ME2, SE), a zadnje slovo (a ili b) oznaka je pojedinog uzorka. Iznimno, uzorak na kojemu je proveden proces elektrokoagulacije uz jakost struje 1 A označen je prije opisanim načinom uz krajnju oznaku A. Slovo R koje se javlja u oznakama nekih uzoraka znači da su to rabljene emulzije. U

tablici 2 su dane mase nastalih taloga i volumeni filtrata za različita vremena provedbe procesa elektrokogulacije, kao i provodnosti, UOU u pojedinom sustavu prije i nakon procesa, te djelotvornost procesa elektrokoagulacije, za različite vrste elektroda. Kada je riječ o ME2 vidljivo je da se s produljenjem trajanja procesa dobivaju različite količine taloga i filtrata, koje se međusobno razlikuju ovisno o vrsti rabljenog elektrodnog sustava (razlike u kinetici nukleacije, koagulacije, taloženja i flokulacije, raspodjeli veličina čestica). Međutim, zajednička je pojava da se s povećanjem nastalog taloga smanjuje volumen filtrata što ukazuje na povećano vezivanje vodene faze na talog. U sustavu dolazi do značajnog porasta provodnosti i to iz dva razloga: zbog uklanjanja organskih sastavnica, a s druge strane otapanjem anode raste koncentracija metalnih iona. Obradom emulzija mineralnog ulja u vodi postignute su visoke učinkovitosti razdvajanja emulzija uz djelotvornosti uklanjanja ugljikovodika uporabom željezovih elektroda od 88 do 98 %, a aluminijskih od 97 do 98 %.

Slika 3. Razbijanje emulzije ME1 procesom elektrokoagulacije a) po koracima b) bistra, bezbojna i bezmirisna vodena otopina koja zaostaje na kraju.

Također, u tablici 2 dane su mase nastalih taloga i volumeni filtrata za različita vremena provedbe procesa elektrokogulacije, kao i provodnosti, UOU u pojedinom sustavu prije i nakon procesa, te djelotvornost procesa elektrokoagulacije, korištenjem različitih elektroda u procesu elektrokogulacije komercijalne emulzije sintetskog ulja (SE) u vodi. Kod ove emulzije otežano je određivanje završetka reakcije, a za razliku od emulzija mineralnog ulja u vodi, nisu postignute visoke učinkovitosti razdavajanja emulzija. Zbog izrazito slabog uklanjanja ugljikovodika, postupak s aluminijevim elektrodama, koje inače pokazuju bolju djelotvornost, ponovljen je, ali do smanjenja ukupnog organskog ugljika nije došlo. Korištenjem željezovih elektroda postignuta je djelotvornost EC procesa od tek 6 %. U sustavu dolazi do porasta provodnosti uslijed elektrokoagulacije, kao i kod ME2, ali je ovdje veći utjecaj vrste rabljenog elektrodnog sustava. Nadalje, vidljivo je da kod SE nastaje puno manje taloga korištenjem željezovih elektroda u usporedbi s ME2, uz slično vrijeme trajanja procesa elektrokoagulacije. Razloge treba potražiti u tome što se sintetska ulja znatno razlikuju u kemijskom sastavu i strukturi od mineralnih ulja što u konačnici dovodi do malog ili gotovo nikakvog učinka elektrokoagulacije.

U slučaju rabljenih emulzija mineralnog i sintetskog ulja u vodi podvrgnutih razbijanju

u procesu elektrokoagulacije korištene su aluminijeve elektrode, a dobiveni rezultati prikazani su također u tablici 2. Kod rabljenih emulzija također dolazi do porasta provodnosti sustava usljed provedbe elektrokoagulacije. Kako u slučaju RSE ne dolazi do razbijanja emulzije, o čemu svjedoče vrijednosti UOU, a provodnost je slična onoj kod RME2, gdje se postiže visoka djelotvornost uklanjanja UOU od 89 %, može se zaključiti da je porast provodnosti posljedica samo porasta koncentracije iona aluminija, koji se javljaju u obliku različitih ionskih vrsta. Vidljivo je da su vrijednosti UOU u rabljenim emulzijama znatano niže u odnosu na svježe emulzije. Dok se početna vrijednost UOU u svježoj mineralnoj emulziji ME2 kreće oko 77070 mg L^{-1}, u rabljenoj RME2 se one smanjuje na oko 3513 mg L^{-1}. Značajno je pri tome istaknuti da se provedbom EC u kratkom vremenu od samo 10 minuta na rabljenoj emulziji vrijednost UOU može višestruko smanjiti, što naročito dobiva na značenju u slučaju primjene EC kao jedne u nizu metoda pročišćavanja otpadne vode.

Uzorak	t / min	I / A	κ_0 / mS cm^{-1}	κ_1 / mS cm^{-1}	m_{taloga} / g	$V_{filtrata}$ / mL	UOU_0 / mg/L	UOU_E / mg/L	D / %
Fe									
FeME2a	45	0,5	0,655	20,10	7,938	40	77070	8936	88,4
FeME2a	90	0,5	0,655	20,80	6,761	54	77070	1474	98,1
Al									
AlME2a	45	0,5	0,655	19,91	7,31	57	77070	1968	97,4
AlME2a	90	0,5	0,655	19,76	9,293	40	77070	1544	98,0
AlME2A	45	1,0	0,655	18,71	13,961	42	77070	1593	97,9
Fe									
FeSEa	50	0,5	4,51	16,66	1,349	40	24190	22730	6,0
Al									
AlSEa	30	0,5	4,51	20,1	0,791	59	24190	-	-
AlSEb	30	0,5	4,51	21,3	0,772	57	24190	24710	-
Al									
RME2	10	0,5	4,90	16,92	1,049	65	3513	396	88,7
RSE	36	0,5	0,81	16,92	0,901	47	7593	7679	-

Tablica 2. Mase taloga i volumeni filtrata, električne provodnosti (κ) i ukupni organski ugljik prije i nakon procesa elektrokoagulacije, te djelotvornost (D) uklanjanja UOU uz Fe ili Al elektrode za različita vremena provedbe procesa elektrokogulacije emulzije mineralnog ulja ME2, sintetskog ulja (SE), te rabljenih RME2 i RSE emulzija.

ZAKLJUČAK

Elektrokoagulacija je dobra metoda za učinkovitu obradu emulzija ulja u vodi, ali njena djelotvornost, a time i primjenjivost ovisi o vrsti ulja. Na temelju dobivenih rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci.

- Prilikom obrade emulzija mineralnih ulja postignuta je visoka učinkovitost procesa

elektrokoagulacije; pri nižim jakostima struje potrebno je dulje trajanje procesa.

- Kod obrade mineralnih emulzija u vodi moguće je koristiti elektrode od željeza, kao i elektrode od aluminija, uz ostvarenu djelotvornost uklanjanja veću od 95 %. Pri istoj jakosti struje, upotrebom elektroda od aluminija maksimalna učinkovitost odvajanja ugljikovodika postiže se u znatno kraćem vremenu.
- Kod obrade emulzije sintetskog ulja poliolefinske osnove u vodi, postignuta je slabo razdvajanje uz djelotvornost uklanjanja od samo 6 % primjenom željezovih elektroda, dok primjenom aluminijevih elektroda uklanjanje ugljikovodika uopće nije postignuto, što se može objasniti različitim sastavom i strukturom sintetskog ulja u odnosu na mineralna ulja.

Kako je elektrokoagulacija složen proces koji se sastoji od više fizikalnih, kemijskih i elektrokemijskih stupnjeva, treba naglasiti da se učinkovitost procesa može dodatno poboljšati povećanjem radne površine elektroda, geometrijom ćelije i režimom miješanja, prema poznatim kemijsko-inženjerskim zakonitostima.

Na temelju rezultata obrade mineralnih emulzija u vodi, elektrokoagulacija se nameće kao proces koji ima potencijal nadvladati gotovo sve nedostatke klasičnih tehnika obrade voda i možda ih potpuno zamijeniti. Jedna od značajki koja govori tome u prilog je činjenica da se elektrokoagulacijski obrađena voda, sa znatno smanjenim organskim sadržajem, može lakše dalje pročišćavati drugim metodama obrade otpadnih voda, pri čemu bi stalnost njenih izlaznih značajki (ukupni organski ugljik) predstavljala veliku prednost ovog postupka u odnosu na druge gdje se javljaju značajna odstupanja u izlaznim veličinama.

LITERATURA

[1] Adžamić, T., Sertić Bionda, K., Jukić, A., Bobić, V., (2011): *Experimental study and modelling of separation of diesel fuel from water emulsions by electrocoagulation*, Chemical Engineering Journal, poslano u tisak.

[2] Arslan, I., Balcioglu, I.A., Tuhkanen, T., (1999): *Advanced oxydation of synthetic dye house effluent by O_3, H_2O_2 / O_3 and H_2O_2 / UV processes*, Environmental Technology, 20, 921-931.

[3] Eyvaz, M., Kirlaroglu, M., Aktas, T. S., Yuksel, E., (2009): *The effects of alternating current electrocoagulation on dye removal from aqueous solutions*, Chemical Engineering Journal 153, 16-22.

[4] Holt, P. K., Barton, G. W., Mitchell, C. A. (2004): *The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology*, Chemosphere 59, 355-367.

[5] Kashefialasl, M., Khosravi, M., Marandi, R., Seyyedi, K., (2006): *Treatment of dye solution containing colored index acid yellow 36 by electrocoagulation using iron electrodes*, International Journal of Science and Techology, 2, 365-371.

[6] Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G, Kesmez, M., Parga, J, Cocke, D. L., (2004): *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation*, Journal of Hazardous Materials B114, 199-210.

[7] Nameri, M., Lounici, H., Belhonice, D., Grib, H., Piron, D. L., Yahiat, Y., (2001): *Defluoridation of Sahara water by small plant electrocoagulation using bipolar*

aluminium electrodes, Separation and Purification Technology 24, 113-119.

[8] Pedišić LJ., (2002): *Maziva, materijali i inženjerstvo podmazivanja*, Goriva i maziva, 41(5), 303-323.

[9] Vidović, E., Jukić, A., Milinković, M., Bobić, V., (2008): *Razdvajanje emulzija mineralnoga ulja i vode metodom elektrokoagulacije*, Goriva i maziva 47, 193-208.

[10] WHO/UNICEF (2010): Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update, World Health Organization and United Nations Children's Fund Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/1278061137-JMP_report_2010_en.pdf, (siječanj 2011.)

AUTORI:

doc. dr. sc. Elvira Vidović [a]
prof. dr. sc. Ante Jukić [a]

[a] Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Marulićev trg 19, 10 000 Zagreb, Hrvatska, evidov@fkit.hr, ajukic@fkit.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.18.

MBR TEHNOLOGIJA, PREDNOSTI U PROIZVODNJI I ODLAGANJU OTPADNIH MULJEVA

Dean Rumora, Goran Vizentin

SAŽETAK: U ovom će radu biti prikazan osvrt na problematiku zbrinjavanja otpadnih muljeva sa uređaja za obradu otpadnih voda sa naglaskom na komunalne sustave.

Uvodni dio će pružiti pregled klasične, ASP (Activated Sludge Process) tehnologije sa aspekta količine i kvalitete (karakteristika) otpadnog mulja u kontekstu važeće zakonske regulative za to područje, kao i budućim, strožim zahtjevima regulative koju propisuje EU.

Glavna tema rada je učinkovitost MBR (Membrane Bio Reactor) tehnologije pri obradi otpadnih voda, čiji "otpadni mulj" (točnije je reći višak procesnog bio mulja) prestaje biti otpad, a time i problem, već otvara mogućnost ponovne uporabe mulja u poljoprivredne svrhe kao poboljšivač tla ako ulazna otpadna voda nema štetnih tvari koje se mogu akumulirati u mulju.

Rad sadržava primjere količine i kvalitete mulja sa MBR uređaja iz prakse.

KLJUČNE RIJEČI: MBR, membrane, mulj, ponovna uporaba

SUMMARY: This paper will present a review of the issues arising in the process of wastewater treatment plants excess sludge with emphasis on municipal systems.

The introductory part will present an overview of classic, ASP (Activated Sludge Process) technologies from the amount and quality (characteristics) of excess sludge point of view, all in context of valid respective laws and regulations, as well as future, more demanding EU regulations.

The main topic of this paper is the effectiveness of MBR (Membrane Bio Reactor) technology in wastewater treatment, whose "waste sludge" (better to say process excess sludge) is no longer a waste, and as such a problem, but opens new possibilities of re-use in agricultural purposes as soil enhancer under the assumption that the influent doesn't contain any harmful substances that could be accumulated in the sludge.

The paper contains examples of sludge amount and quality from MBR plants in function.

KEY WORDS: MBR, membranes, sludge, re-use

1. UVOD

Kako se bliži ulazak RH u Europsku uniju, zamjetan je povećani interes i potreba za izgradnjom uređaja za obradu otpadnih voda. Sa svakim novim uređajem, javlja se i problem zbrinjavanja nus-produkata obrade (primarni otpad sa predtretmana i višak procesnog biomulja). Pogotovo je to izraženo kod uređaja koji nemaju integrirano rješenje zbrinjavanja nus-produkata obrade. Kao primjer se mogu navesti uređaj u Zagrebu koji je počeo sa radom 2004. godine, a još uvijek nije riješen problem odlaganja mulja sa uređaja. Drugi primjer je uređaj u Opatiji gdje se ide u izgradnju uređaja prvog stupnja, a da ne postoji niti projektno rješenje načina i metodologije zbrinjavanja nus-produkata obrade otpadne vode.

Države EU imaju slične probleme vezane uz odlaganje mulja. Razlog tome leži u prijašnjim tehnologijama koje su, u biti, pretvarale otpad jednog oblika u drugi, a ne rješavali u potpunosti problem obrade otpadnih voda. Kao odgovor tim problemima nude se nove ili stare poboljšane tehnologije koje nastoje integrirati rješenje obrade otpadne vode i obradu, a time i zbrinjavanje, nus-produkata.

Te nove-stare tehnologije obrade otpadnih voda moraju primarno odgovoriti (omogućiti) smanjenje stvaranja nus-produkata obrade, a da kvaliteta istih omogućava jednostavno, bezopasno zbrinjavanje bez ograničenja ili čak ponovnu uporabu (npr. u poljoprivredne svrhe), a bez utjecaja na kvalitetu efluenta.

Kao primjer novih tehnologija mogu se navesti:

- anaerobna obrada otpadnih voda
- MBR tehnologija.

Ovdje je naglasak stavljen na MBR tehnologiju zbog činjenice da su anaerobni procesi isplativi samo kod većih postrojenja (>100.000 ES), pri čemu sam proces zahtijeva ujednačeni dotok (slaba fleksibilnost) i veliki angažman prilikom vođenja (stručno znanje, ljudska posada, značajni broj laboratorijskih analiza). Iz tih razloga u Hrvatskoj postoji mala potreba za uređajima sa anaerobnom obradom otpadnih voda.

Povezanost proizvodnje (stvaranja) aktivnog mulja i membranske filtracije analizirana je iskustveno u zadnjih 6 godina na 10-ak uređaja sa potopnim membranama u aeriranim bazenima koji su u funkciji u RH.

2. ISKUSTVO U PRIMJENI MBR TEHNOLOGIJE

Membranska se tehnologija (MBR) sve više pokazuje kao moguća alternativa klasičnim tehnologijama biološke obrade aktivnim muljem (eng. Conventional Activated Sludge, CAS). MBR može odgovoriti povišenim zahtjevima i standardima zakonske regulative na području obrade vode. Ideja i princip uronjenih membrana u bazenima za obradu voda pojavili su se u ranim 90-tim godinama prošloga stoljeća nakon uspješnih istraživanja poznatih tvrtki Kubota i Zenon. Komercijalni uspjeh ovih tvrtki doveo je do razvoja različitih tipova membrana i principa (tehnoloških pristupa) obradi voda, s primjenom raširenom po cijelom Svijetu.

Objedinjavanjem membranske separacije sa klasičnom biološkom obradom otpadnih voda utjecaj svojstava taloženja mulja se u potpunosti uklanja čime se javila mogućnost smanjivanja tlocrtnih gabarita postrojenja za obradu otpadnih voda uz znatno povećanje

kvalitete obrađene vode. Postizanje nivoa obrade po pitanju kvalitete efluenta lako se postiže bez uporabe sekundarne taložnice. Učinkovitost obrade ovisi prvenstveno o pravilnom dimenzioniranju uređaja (površina membrana, volumeni reaktora…).

Svi biološki procesi stvaraju višak procesnog mulja u sekundarnoj obradi koji se mora ukloniti iz procesa i sigurno zbrinuti. Iako je volumen tekućeg mulja koji je potrebno ukloniti iz CAS procesa obično 1 do 2% (Graham et al., 2000) ukupnog dnevnog dotoka njegova obrada predstavlja 50% ukupnih troškova obrade otpadne vode (Graham et al., 2000). Na većini CAS postrojenja za obradu otpadnih voda se oko 60÷70% suspendirane tvari i 25÷40% BPK uklanja na primarnoj sedimentaciji. Dok se 80% BPK preostalog nakon primarne sedimentacije može pretvoriti u ekvivalentnu masu (biomase) na sekundarnom stupnju obrade (biološki stupanj obrade) te uklonjeno iz sekundarne taložnice kao tzv. sekundarni mulj. Stoga, ovaj mulj može predstavljati značajni dio ukupne količine mulja s uređaja.

2.1. Europska iskustva

Istini na volju, tek je u zadnjih par godina primjena MBR tehnologije pokazala očekivani potencijal na uređajima srednjeg i velikog kapaciteta. Glavni čimbenici koji su doprinijeli razvoju i izgradnji takvih postrojenja su iskustvo i znanje stečeno na pilot i malim postrojenjima, bitno i kontinuirano smanjenje cijena membrana.

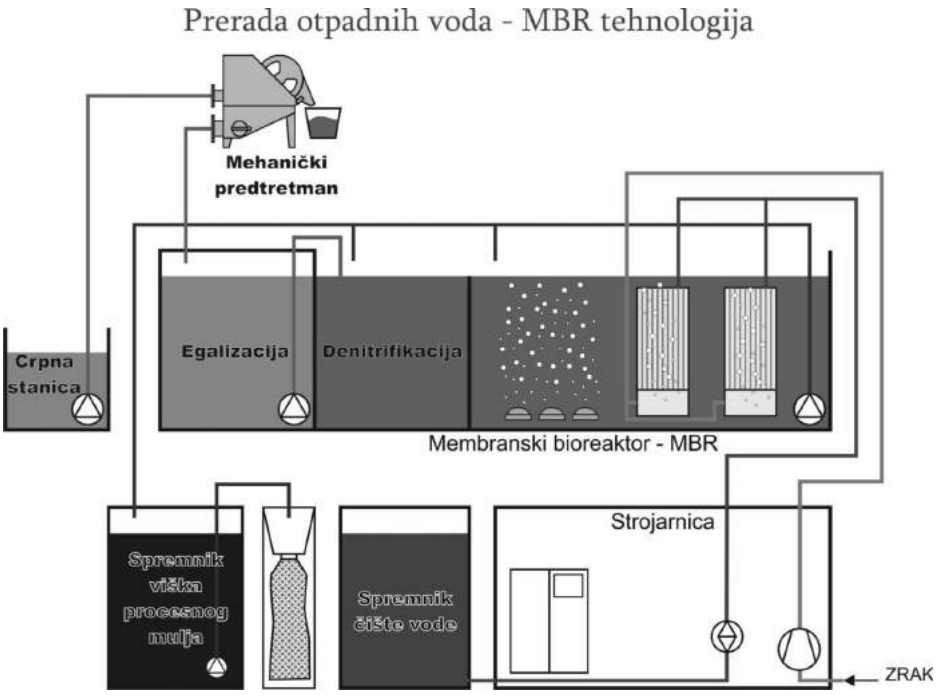
Dvije europske države sa najvećim brojem izvedenih MBR postrojenja su Njemačka i Velika Britanija (Melin i drugi, 2006). Ključnu ulogu u odabiru i izvedbi ove tehnologije imale su državne institucije, lokalna vlast, sveučilišta i tvrtke koje upravljaju vodnim resursima sa zajednički odabranom strategijom i pravcem razvoja obrade otpadnih voda.

2.2. Hrvatska iskustva

Povezanost proizvodnje (stvaranja) aktivnog mulja i membranske filtracije analizirana je iskustveno u zadnjih 6 godina na 10-ak uređaja sa potopnim membranama u aeriranim bazenima koji su u funkciji. Prilikom puštanja u pogon i probnog rada koji je u prosjeku trajao 12 mjeseci, koncentracija mulja (MLSS) se postupno povećavala od 2 do 10 g/l pri čemu su se pratile promjene ponašanja procesa uz različita hidraulička vremena zadržavanja (eng. HRT, Hydraulic Retention Time) od 1 do 9 h, te protok kroz membrane (fluks) od 2,5 do 17 l/m2h. Zamijećeno je da su kod koncentracije od 10 g/l koeficijenti rasta biomase (Y) i specifične brzine rasta (μ) znatno manji u odnosu na manje koncentracije između 2 i 5 g/l, na temelju čega je moguće utvrditi da veća koncentracija mulja uzrokuje smanjen rast i reprodukciju mikroorganizama u bioreaktoru. Naime, mikroskopskim pregledom utvrđeno je da se promjenom (povećanjem) MLSS prirodnim putem stvara drugačiji mikrobiološki sastav mulja, a kod iste ili slične starosti mulja. Teoretski je moguće i uspostaviti stanje nultog rasta mikroorganizama što je moguće ostvariti ako je F/M odnos takav da osigurava samo održavanje mikroorganizama u životu a sprečava njihov rast i razvoj.

Prikaz principa rada MBR postrojenja na kojima su skupljana iskustva prikazan je na slici 1. Na svakom od uređaja koristile su se uronjene membrane separacijskog učinka 250kDa. Membrane su se aerirale konstantnim protokom zraka. Centrifugalna pumpa za isisavanje vode je proizvodila podtlak od 0,1 do 0,4 bar. Na svim postrojenjima je početak

rada bioreaktora pokrenut muljem sa klasičnih bioreaktora koji je prošao mehanički predtretman na uređajima (fino rotaciono sito otvora 1mm). Na svim uređajima u pogonu se konstantno nadzire koncentracija mulja, kako bi prikupljani podaci bili osnova za modeliranje ovisnosti MLSS-a i funkcionalnosti procesa.



Slika 1. Princip rada MBR postrojenja

2.3. Utjecaj tehnologija na mikroorganizme

Aktivni mulj predstavlja idealnu sredinu u kojoj brojni mikroorganizmi mogu proći potpuni ciklus rasta, što znači da je biomasa složena mješavina živih, starih i mrtvih mikroorganizama. Mikroorganizmi trebaju energiju da bi se mogli održavati na životu. Potrošnja energije za održavanje života kod mikroorganizama ima prioritet u odnosu na potrošnju energije za rast i razmnožavanje. Kako većina klasičnih postrojenja ima malu koncentraciju mulja (2÷3 g/l) i malu starost (obično do 15 dana), energija koju mikroorganizmi imaju na raspolaganu premašuje onu potrebnu za održavanje staničnih funkcija, pa se ostatak koristi za razmnožavanje što u konačnici rezultira proizvodnjom biomase a time i viška mulja koji se mora odvajati.

S druge strane, MBR proces ima povišenu koncentraciju mulja (optimalno 12 g/l) koji su "koncentrirani" na održavanje staničnih funkcija, odnosno života, pa je produkcija mulja smanjena. Povećani MLSS ima za negativnu posljedicu smanjenje učinkovitosti membranske filtracije zbog povećanja čepljenja membrana (fouling). Nadziranje procesa s naglaskom na čepljenje je ključni faktor u radu MBR-a. Postoje standardne, automa-

tizirane, metode kontrole i uklanjanja problema čepljenja. Za trajnu filtraciju aktivnog mulja u MBR reaktoru sa visokim koncentracijama mulja najpogodniji je protustrujni model filtracije, pri čemu se javljaju smične sile na površini membrane i time sprječavaju nastanak sloja nalijepljenog mulja (cake layer) na membrani što osigurava ujednačenu protočnost membrane.

Kod uronjenih membrana protustrujni tok se osigurava vertikalnim protokom zraka uz membrane (paralelno s površinom membrane) i potlakom koji "usisava" vodu okomito na površinu membrane. Transmembranski tlak se održava relativno niskim (do 0,4 bar), sama protočnost (fluks) je daleko ispod kritičnih vrijednosti, a sve kako bi se olakšala kontrola čepljenja. U slučaju potrebe za kratkotrajnim povećanjem fluksa intenziviranje aeracije membrana može smanjiti vjerojatnost pojave čepljenja.

Kod MBR procesa se hidrauličko vrijeme zadržavanja (HRT), i vrijeme zadržavanja mulja (eng. SRT, Sludge Retention Time) mogu birati neovisno jedno od drugoga, što otvara mogućnost fleksibilnije regulacije procesnih parametara. Također, visoke koncentracije mulja u bioreaktoru omogućavaju efikasnu obradu visoko opterećenih otpadnih voda. Dulje vrijeme zadržavanja mulja u kombinaciji sa velikom starosti mulja (SRT) produljuje vrijeme u kojem su mikroorganizmi u dodiru sa nutrijentima što za posljedicu ima razvoj specijaliziranih, sporo rastućih mikroorganizama koji mogu razgraditi i inače slabo razgradive zagađivače u otpadnoj vodi.

Parametri i uvjeti rada MBR uređaja na kojima su skupljani podaci su slijedeći:

- Svi uređaji imaju egalizacijski spremnik tako da je dotok influenta u sam reaktor bio ujednačen
- Transmembranski tlak je varirao od 0,1 do 0,4 kako bi se osigurao konstantni fluks
- MLSS je varirao, odnosno ujednačeno povećavao od 2,5 do 10 g/l
- HRT je mijenjan od 1 do 9h
- Koeficijent prinosa bio mase Y je varirao od 1,8 do 0,31 i to za MLSS od 2,5 do 10 g/l

Upotreba ultrafiltracijskih membrana, koje se najčešće primjenjuju u MBR uređajima, za obradu otpadnih voda dokazano ostvaruje visoku efikasnost uklanjanja koliformnih, fekalnih koliformnih bakterija kao i bakteriofaga. Zbog svega navedenog efluenti MBR uređaja u potpunosti zadovoljavaju uvjetima koje postavljaju stroge zakonske norme kao npr. Europska direktiva za vodu za kupanje (EU Bathing Water Directive, EC/160/75). Eksperimenti sa virusima približnog promjera 25nm koji su usmjeravani na membranu, pokazali su 94,5%-tno uklanjanje.

Ovakve karakteristike efluenta iz MBR uređaja je veliki faktor u odabiru upravo ove tehnologije u slučajevima kada se obrađena tj. obnovljena voda želi ponovno koristiti.

1. Modeliranje rasta mulja

Većina modela rasta mulja u bioreaktoru temelji se na dvije osnovne kinetičke jednadžbe. Prva opisuje brzinu rasta mikroorganizama, a druga brzinu korištenja hrane. Ti su izrazi:

$$X = \frac{Y\theta_c\left(S_0 - S\right)}{\theta\left(1 + k_d\theta_c\right)}$$

$$(\mu)^{-1} = YU - k_d$$

gdje su:

X	koncentracija biomase [mg/l]
Y	koeficijent rasta biomase (mgVSS/mgBPK)
S_0	koncentracija hrane u influentu (mg/l)
S	koncentracija hrane u efluentu (mg/l)
θ_c	starost mulja [dan], SRT
θ	hidrauličko vrijeme zadržavanja [dan], HRT
μ	specifična brzina rasta [1/dan]
U	specifično iskorištenje hrane [1/dan]
k_d	koeficijent endogenog raspadanja [1/dan]

4. SMANJENJE PROIZVODNJE MULJA

Postoji nekoliko mogućih načina, odnosno osnovnih principa kojima se može utjecati na smanjenje proizvedene količine mulja. To su:

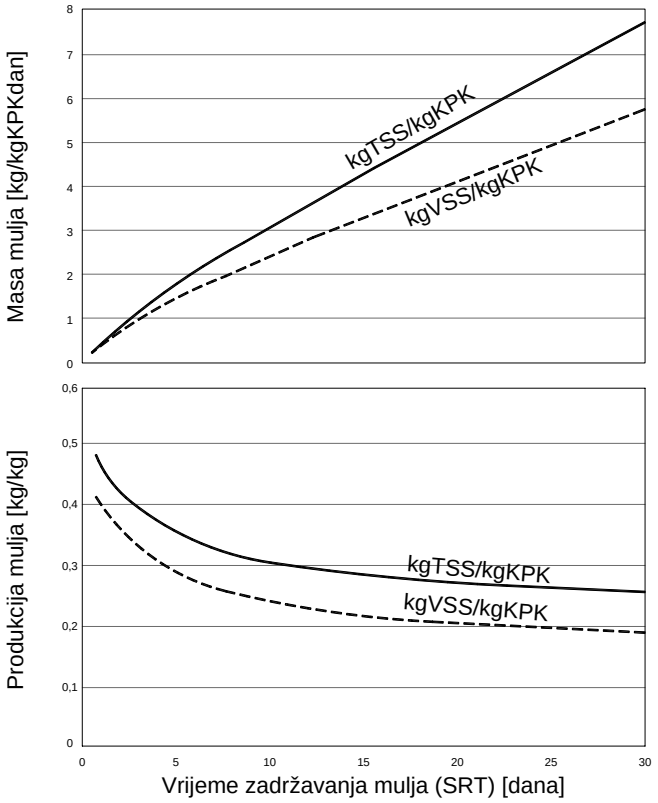
- Kemijski: ozonizacija, kemijsko razaranje
- Toplinski: toplinsko razaranje
- Fizički: mehaničko razaranje, ultrazvuk, mikro sita, hidrocikloni
- Biološki: anaerobna digestija, fermentacija, endogena respiracija (SRT)

Ovdje će se razmatrati najjednostavnija metoda, odnosno biološki postupci. Ova je metoda integrirana u princip rada MBR uređaja, te stoga ne iziskuju dodatne investicije i ne komplicira način upravljanja. Kod CAS uređaj primjena ove metode komplicira vođenje procesa pogotovo za SRT>30 dana. Razlog tome je u svojstvu mulja da mu se pogoršavaju svojstava taloženja. Kod MBR uređaja svojstva taloženja mulja nemaju nikakve važnosti.

4.1. Utjecaj SRT na smanjenje proizvodnje mulja

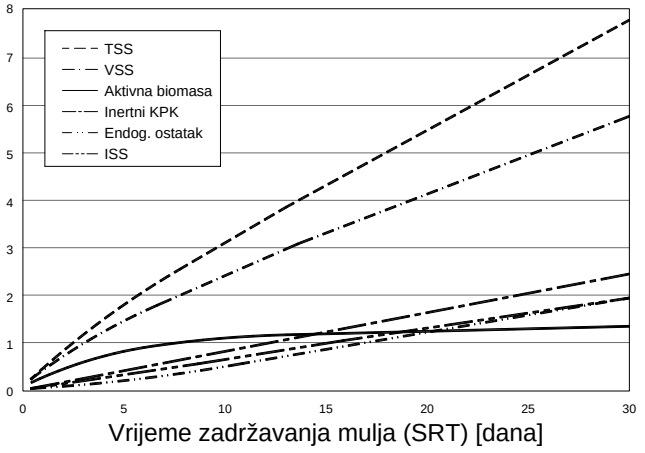
Različito vrijeme zadržavanja mulja ima različite utjecaje na učinkovitost smanjenja pojedinih parametara. Tako kraće vrijeme zadržavanja mulja pogoduje smanjenju BPK, dok produljeno vrijeme pogoduje i smanjenju N i P pri nižim temperaturama. Bitno je, također, napomenuti da produljenje vremena zadržavanja povećava troškove aeracije.

Na slici 2 prikazana je promjena parametara mulja u vezi s promjenom vremena zadržavanja mulja.



Slika 2. Produkcija mulja u ovisnosti o promjeni SRT(Comeau et al., 2010)

Osim promjene količine mulja koji se proizvodi u bio reaktoru s promjenom vremena zadržavanja mulja mijenja se i sastav mulja kako je prikazano na slici 3.



Slika 3 Sastav mulja u ovisnosti o SRT(Comeau et al., 2010)

4.2. Kvaliteta mulja nakon obrade u MBR uređaju

Bitno je napomenuti da je procesni biomulj u MBR reaktoru već stabiliziran, ako se koristi parametar SRT>50 dana (po ATV-u je SRT>25 dana), tako da nije potrebna dodatna obrada, već samo eventualno ocjeđivanje. MBR mulj se može koristiti bilo u tekućem (neocijeđenom) ili u krutom (ocijeđenom) stanju u poljoprivredne svrhe kao poboljšivač tla, dodatak kompostima ili proizvodni humusa ako zadovoljava propisanu kvalitetu.

4.2.1. Izvješće o ispitivanju fizikalo-kemijskjh osobina mulja s MBR uređaja „Park Umag" Poljoprivrednog fakulteta u Zagrebu

Analize mulja sa MBR uređaja koje je izvršio Poljoprivredni fakultet u Zagrebu pokazale su da je mulj slabe kisele reakcije (pH 6,5), da miješanje vode i mulja nije proizvodilo toplinu što ukazuje da nema naknadnih kemijskih reakcija, odnosno da je mulj u potpunosti stabiliziran. Analitički podaci makrobiogenih elemenata ukazala je na bogatu opskrbljenost mulja dušikom (ukupan na suhu tvar 6,81%), fosforom (P_2O_5 ukupan na suhu tvar 5,40%) i kalijem (K_2O ukupan na suhu tvar 4,30%).

Obzirom da je mulj bogat organskom tvari (68%), i da je bogato opskrbljen osnovnim biogenim elementima (NPK) može svoju primjenu naći u poljoprivrednoj proizvodnji za podizanje razine orgasnke tvari, kao i u ishrani određenih biljnih vrsta.

Koncentracija teških metala u predmetnom uzorku nalazi se ispod maksimalno dozvoljenih (MDK), propisanih Pravilnikom 0 zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN br. 15/92 od 25. 03.1992. god.)

Količina primijenjenog materijala na ratarskim površinama, livadama i nizinskim pašnjacima čija tla ne sadrže nekog od teških matala mora biti 50% manja od granične vrijednosti (Tablica-Članak 3 navedeni Pravilnik). Primijenjena količina također ovisi o udjelu suhe tvari, tako da maksimalna količina primijenjenog mulja ne bi smjela prelaziti 10t suhe tvari po hektaru.

Analizirani materijal udovoljava minimalnim uvjetima za eventualno korištenje u poljoprivredne svrhe kao poboljšivač tla, jer će pridonijeti poboljšanju fizikalnih i/ili kemijskih svojstava tla. Pored navedenog analizirani mulj bi svoju primjenu mogao naći kao jedna od komponenata u proizvodnji uzgojnih supstrata.

Prije primjene bilo kojeg otpadnog materijala, kao gnojiva ili poboljšivača tla, neophodna je analiza tla sa dotične poljoprivredne površine.

Ujedno mulj zadovoljava sve uvjete iz Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08).

ZAKLJUČAK

Glavna prednost MBR tehnologija je da se starost i koncentracija mulja u biorekatoru mogu povećati bez utjecaja na efikasnost separacije krutih tvari iz vode. To za posljedicu ima dvije značajne koristi:

1. Povećavanjem starosti mulja poboljšava se sposobnost odvodnjavanja mulja (manja potreba za polimerima za poboljšanje odvodnjavanja)
2. Povećavanje starosti mulja i MLSS-a vodi do smanjenja produkcije mulja i povećanja efikasnosti pročišćavanja (uklanjanja nutrijenata i pri niskim temperaturama)

U ovakvim slučajevima mikroorganizmi prvenstveno koriste energiju na raspolaganju iz influenta na osnovne stanične funkcije. Za komunalne otpadne vode se pokazalo da se produkcija mulja drastično smanjuje ako je SRT>50 dana. Također je opaženo da se s povećanjem MLSS-a sa 3 na 6 g/l produkcija mulja smanjuje za 12%.

Sa povećavanjem MLSS-a sa 2,5 na 12 g/l, te STR>80 dana koeficijenta rasta bio mase se smanjio sa 1,5 na 0,4. U ovom se slučaju postiglo stanje nulte produkcije mulja. Odnos hrane i biomase (F/M) se kretao između 0,05 i 0,07 [kgKPK/kgMLSSd].

Dosadašnja iskustva iz rada uređaja pokazuje nam da se ukupna produkcija mulja kreće između 0,3 i 0,45 [kgST/kgBPK], a kod uređaja sa sezonskim karakterom rada od 0,1 do 0,3 [kgST/kgBPK] u čemu je uključen i primarni otpad sa predtretmana (sito 1mm).

Zadnja saznanja ukazuju da je moguće dobiti stanje nulte produkcije mulja, pogotovo kod uređaja koji rade sezonski. Pri tome ostaje samo primarni otpad sa sita, dok rast mikroorganizama pokriva sezonsko vršno opterećenje. Eventualno praktično ograničenje za postizanje stanja nulte produkcije je povećanje viskoziteta i pogoršanje prijenosa kisika u reaktoru, te moguća akumulacija anorganskih ili toksičnih tvari.

LITERATURA

[1] Graham N. et al. (2000): *Minimizing wastewater sludge production by use of a novel membrane reactor*, Sustainable energy and environmental technologies, Proceedings of the Third Asia-Pacific Conference, Hong Kong, China.

[2] Melin T. et al. (2006): *Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse*, Desalination,2006, Volume 187, Issues 1-3, 271-282.

[3] Ghyoot W., Verstraete W.(2000): *Reduced sludge production in a two-stage membrane assisted bioreactor*, Water Research, Volume 34, Issue 1, 205-215.

[4] Comeau Y. et al.(2010): *Minimising sludge production by long SRT, trash and grit removal from sludge*, Neptune Workshop, Quebec, Canada.

AUTORI

Dean Rumora [a]
Goran Vizentin [a]

[a] Almes-eko d.o.o., Pomerio 9, Rijeka, 51000, Hrvatska, info@almes.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.19.

HRVATSKO ZAKONODAVSTVO GOSPODARENJA MULJEM SA KOMUNALNIH UREĐAJA

Gorana Ćosić-Flajsig

SAŽETAK: Pročišćavanjem otpadnih voda uklanjanju se neželjeni elementi iz otpadne vode, a mulj je neizbježan nusprodukt-otpad u pročišćavanju otpadnih voda. Pročišćena otpadna voda se ispušta u prirodni prijemnik, dok problem predstavlja izdvojeni mulj kojeg je potrebno dodatno obraditi i konačno zbrinuti radi očuvanja okoliša u okolišno ekološkom, zdravstvenom i estetskom pogledu. U radu je napravljena analiza postojećeg stanja zakonodavstva vezanog uz gospodarenje muljem u Hrvatskoj i potreba za njegovim unaprjeđenjem. Sukladno potrebama održivog gospodarenja muljem sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i zahtjevima europske politike zaštite okoliša, u Republici Hrvatskoj potrebno je potaknuti unaprjeđenje zakonske regulative. Kako bi se očuvao okoliš, uz donesenu zakonsku regulativu, na državnoj i lokalnim razinama potrebno je izraditi odgovarajuće analize i izraditi kriterije i smjernice i planirati provedbu načina obrade i konačnog odlaganja mulja iz otpadnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: Mulj sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda**,** Zakonodavstvo Republike Hrvatske, Zakonodavstvo Europske unije, Održivo gospodarenje muljem

CROATIAN LEGISLATION RELATED TO WASTEWATER SLUDGE MANAGEMENT

SUMMARY: Wastewater treatment removes undesirable elements from wastewater; however, sludge is an unavoidable by-product of wastewater treatment. Treated wastewater is discharged into a natural receiving body, while generated sludge poses a problem and must be additionally treated and finally disposed of for reasons of environmental protection in ecological, health and aesthetic terms. The paper analyzes existing state of legislation related to sludge management in Croatia and the need for its improvement. According to the needs of sustainable management of sludge generated at urban waste water treatment plants and the requirements of the European environmental protection policy, it is necessary to initiate improvement of legislative regulations in the Republic Croatia. To protect environment, aside from already enacted legislation, it is necessary, on both on national and local levels, to carry out appropriate analyses and prepare criteria and guidelines as well as plan implementation of treatment and final disposal methods for

wastewater sludge.

KEY WORDS: Sludge from urban wastewater treatment plants**,** Legislation of the Republic of Croatia, Legislation of the European Union, Sustainable sludge management

1. UVOD

Pravo na zdrav okoliš zajamčeno je Ustavom Republike Hrvatske. U posljednje vrijeme, zbog zaštite okoliša, a posebice voda, gradi se, a i gradit će se veći broj uređaja za čišćenje komunalnih otpadnih voda. Službenih podataka o dnevnoj/godišnjoj proizvodnji mulja sa uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, kao i o načinu njegove obrade i zbrinjavanja**,** u Republici Hrvatskoj nema. Temeljem podataka vezanih uz rad uređaja može se zaključivati o količini mulja, a o tehnologijama obrade i načinu zbrinjavanja može se govoriti tek temeljem nekoliko primjera za koje su prikupljeni podaci. Od ukupno 295 naselja s izgrađenim kanalizacijskim sustavom 131 (44%) naselje posjeduje i uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Prema podacima iz Strategije upravljanja vodama (2008), izgrađeno je 109 uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, različitih prema stupnju izgrađenosti i prema kapacitetu. 38 uređaja je s prethodnim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda, 24 s prvim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda te 46 uređaja s drugim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda i 1 uređaj s trećim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda. U odnosu na instalirani kapacitet uređaja za pročišćavanje otpadnih voda od 3.355.250 ES (prema Strategiji upravljanja vodama) i srednju vrijednost (50 g suhe tvari/ES/dan) količine izdvojenog mulja, za pretpostaviti je da bi očekivana maksimalna količina izdvojenog mulja iznosila **168 tona/dan suhe tvari**, odnosno oko **61.000 tona godišnje**.

Nacionalna strategija zaštite okoliša Republike i Nacionalni plan djelovanja za okoliš Republike Hrvatske definirali su gospodarenje otpadom kao najveći problem zaštite okoliša u Hrvatskoj. To je potvrđeno i u mišljenju Europske komisije o prijavi Hrvatske za prijem u Europsku uniju. Temeljem Strategije gospodarenja otpadom RH, Vlada Republike Hrvatske donijela je Plan gospodarenja otpadom kao provedbeni dokument za razdoblje od 8 godina (2007. - 2015.). Strategijom su određeni ciljevi i prioriteti u gospodarenju otpadom od kojih je bitno izdvojiti gradnju građevina i uređaja za obradu otpada, povećanje udjela kontroliranog skupljanja i zbrinjavanja otpada. Strategija koristi katalog otpada koji sadržava više od 800 vrsta otpada, a detaljnije je opisano 15 prioritetnih tokova otpada: od kojih i ***komunalni mulj***. U Planu gospodarenja otpadom navodi se: „*Mulj nastao pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda mogao bi se tretirati sastavnicom komunalnog otpada, no gospodarenje muljem je u nadležnosti pravnih osoba koje upravljaju uređajima za obradu otpadnih voda, a ne tijelima za gospodarenje otpadom*“. Zakon o vodama (NN 153/2009) kaže o mulju: „*Mulj nastao u postupku pročišćavanja otpadnih voda može se koristiti u skladu s posebnim propisima. Odlaganje mulja… u vode zabranjeno je*“. Pravilnikom o načinu i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/2007), te se navodi da je na odlagališta otpada zabranjen prihvat, između ostalog i: „*komunalnog otpada ukoliko mu masa biorazgradive komponente premašuje 35% od ukupne mase*“. Međutim, biološki stabiliziran mulj sadrži uvijek više od 35% biorazgradive tvari.), tako da problem konačnog odlaganja postaje sve veći. U istom Pravilniku kao kriterij za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada, kao

granična vrijednost za ukupni organski ugljik (TOC), propisano je 5% od mase suhe tvari, a stabilizirani mulj ima više od 5% TOC-a.

Obzirom da mulj sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ima značajan volumena, a istovremeno sadrži „zelenu energiju", ima visoku energetsku vrijednost, ovakav postupak uz osiguranje prihvatljive lokacije za odlaganje mulja nikako ne pripada grupi održivih rješenja prema EU zakonima. U većini razvijenijih država EU (Njemačka, Engleska, Nizozemska čak više od 50% odlaganje mulja na sanitarne deponije zamijenio je trend spaljivanja mulja). Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) navedena su ograničenja u pogledu korištenja mulja u poljoprivredi, sukladno odredbama Direktive Vijeća 86/278/EEZ.

2. POSTOJEĆE STANJE ZAKONODAVSTVA VEZANOG UZ MULJ SA UREĐAJA

2.1. Politika zaštite okoliša i zakonodavstvo Europske unije

Zahvaljujući znanstveno-tehnološkom i gospodarskom razvoju, stotine tisuća kemijskih tvari ulaze u okoliš, a istovremeno ne postoji često dovoljno znanja o njihovom složenom utjecaju na ljude i na okoliš. Stoga, okolišna pitanja postaju sve značajniji element gospodarskog okruženja. Europska unija (u daljnjem tekstu: EU) prepoznala je zaštitu okoliša kao ključnu komponentu gospodarskog razvoja, koja se danas smatra najvažnijim razvojnim problemom, te donijela cijeli niz zakona, propisa i strateških dokumenata koji pridonose zaštiti okoliša i podizanju svijesti ljudi o njegovom očuvanju. Politike zaštite okoliša Europske unije definiraju se akcijskim programima, a do sada je doneseno šest akcijskih programa. Provedba politike zaštite okoliša temelji se na načelu opreza i načelu preventivnog djelovanja, odnosno na načelima da se šteta nanesena okolišu popravlja prvenstveno na samom izvoru i da je plaća onečišćivač. Težište Šestog Akcijskog programa je na četiri prioritetna područja:klimatske promjene, zaštita biljnog i životinjskog svijeta (bio raznolikost),zaštita zdravlja stanovništva i gospodarenje otpadom.

Okvir za europsku politiku gospodarenja otpadom sadržan je u rezoluciji Vijeća Europske unije o **Strategiji gospodarenja otpadom (97/C76/01)** koja se temelji na tada važećoj **Okvirnoj Direktivi o otpadu (75/442/EEZ)** i drugim europskim propisima. Najvažnije europske direktive su: Okvirna Direktiva o otpadu (2008/98/EZ), Direktiva o odlagalištima (99/31/EZ), Direktiva o opasnom otpadu (91/968/EEZ s dodacima 94/31/EZ, 166/2006), *Direktiva o mulju sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (86/278/EEZ)*, Direktiva o spaljivanju otpada (2000/76/EEZ), Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (94/62/EZ s dodacima 2005/20/EZ, 2004/12/EZ, 1882/2003). Zabranjuje se ispuštanje mulj sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u površinske vode sukladno Direktivi o komunalnim otpadnim vodama (91/271/EEZ).

2.2. Propisi i zahtjevi Europske unije

Okvirna Direktiva EU 75/442/EEZ o otpadu daje okvir za upravljanje otpadom, a otpadom se smatra bilo koja supstanca ili tvar koju netko želi odložiti ili je namjerava odložiti. Budući da je mulj, koji je nastao kao nusprodukt prilikom pročišćavanja komunalnih

otpadnih voda, opasni otpad, bitna je i njegova konačna dispozicija nakon obrade. **Direktivom Vijeća 86/278/EZ o zaštiti okoliša, posebno tla, kod uporabe kanalizacijskog mulja u poljoprivredi**, regulirana je primjena kanalizacijskog mulja u poljoprivredi tako da se spriječi štetne utjecaje na tlo, vegetaciju, životinje i ljude njegovom pravilnom primjenom. Mulj sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ima vrijedna agronomska svojstva u poljoprivredi, no njegovim korištenjem mora se voditi računa o potrebi biljaka za hranjivim tvarima, a da se pritom ne ugrožava kvaliteta tla te površinske i podzemne vode, pogotovo radi negativnog utjecaja teških metala. Obrađeni mulj može se koristiti u poljoprivredi, pod uvjetom da država članica uređuje njegovu upotrebu. Direktiva daje mogućnost svim državama članicama EU-a da unesu i strože odredbe, ali o svim takvim odlukama moraju obavijestiti Europsku komisiju. Direktiva je donesena prije dvadesetak godina sa ciljem primjene mulja u poljoprivredi i reguliranja njegovog korištenja, sa usklađenim učincima na tlo, vegetaciju, životinje i ljude. Cijeli niz studija, koja je pokrenula Europska komisija sa ciljem procjene okolišnih, ekonomskih i socijalnih utjecaja, uključujući utjecaj na zdravlje ljudi uslijed postojeće prakse, ukazala je na niz nedostaka, kao i mogućih politika korištenja mulja na tlu. Stoga se, u narednom razdoblju, očekuje revizija navedene direktive.

Nacionalnim propisom, Republika Hrvatska je preuzela zahtjeve direktive putem **Zakona o otpadu (NN 178/04,111/06, 60/08, 87/09) i Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08), Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08),** koji u potpunosti prenosi odredbe Direktive 86/278/EEZ.

Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ) ima za cilj smanjenje onečišćenja svih voda pod utjecajem sanitarnih i tehnoloških otpadnih voda koje otječe s urbanih površina. Direktiva uspostavlja standarde i mehanizme vezano uz prikupljanje, obradu i ispuštanje otpadnih voda, koje se općenito nazivaju "komunalnim otpadnim vodama". Također, njome se regulira odlaganje kanalizacijskog mulja. Jedan od važnih aspekta provedbe Direktive trebao bi osigurati da okolišno i tehnički prihvatljivo ponovno korištenje ili odlaganje mulja bude podložno općim pravilima, registraciji, ili odobrenju, uz poštivanje zahtjeva iz drugih srodnih direktiva. Odluka Europske komisije 93/481/EEZ definira informacije koje države članice trebaju pružiti Komisiji kad izvještavaju o stanju provedbe Direktive.

3. HRVATSKO ZAKONODAVSTVO VEZANO UZ GOSPODARENJE MULJEM

U Republici Hrvatskoj, način gospodarenja muljem propisan je Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08), a dijelovi direktive su preneseni Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92), Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10), te Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih (NN 87/10). Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih (NN 87/10) nije propisao način zbrinjavanja mulja, iako je njegovo odlaganje u površinske vode zabranjeno. Rečeno da će se mulj nastao pročišćavanjem otpadnih voda

ponovno koristiti kad god je to moguće te da ispravnim odlaganjem mulja, štetan utjecaj na okoliš treba svesti na najmanju moguću mjeru, odnosno pravne osobe koje održavaju sustav javne odvodnje i pripadajući uređaj za pročišćavanje, uz vodopravnu dozvolu za ispuštanje otpadnih voda trebaju imati i dozvolu za odlaganje mulja nadležnog tijela državne uprave.

Usporedbom graničnih vrijednosti koncentracija teških metala prema Pravilniku o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) i Direktivi 86/278/EEZ, vidljivo je da je dopušteni sadržaj teških metala u suhoj tvari mulja koji je propisan hrvatskim pravilnikom značajno je niži od graničnih vrijednosti dopuštenih Direktivom (vidi Tablicu br.1.). Tako primjerice u slučaju kadmija, hrvatski pravilnik dopušta maksimalnu koncentraciju do 5 mg/kg, a Direktiva 40 mg/kg suhe tvari mulja, što znači da je vrijednost propisana Pravilnikom 8 puta stroža od one propisane Direktivom. Vrijednost propisana Pravilnikom je za bakar 3 puta stroža, za nikal je 5 puta stroža, za olovo je više od 2 puta stroža, za cink je 2 puta stroža dok je za živu 5 puta stroža.

U skladu sa Zakonom o poljoprivrednom zemljištu, doneseni su slijedeći pravilnici: Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92) i Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćujućih tvari (NN 32/10). Pravilnikom iz 1992. godine dopušteni sadržaj teških metala u suhoj tvari mulja značajno je niži od graničnih vrijednosti dopuštenih Direktivom. Pravilnikom iz 2010. godine nije propisan dopušteni sadržaj teških metala u suhoj tvari mulja, već samo vrijednosti koncentracija teških metala u tlu, koje su također niže od graničnih vrijednosti dopuštenih Direktivom. Pravilnik dopušta maksimalne koncentracije teških metala u tlu koje su u odnosu na Direktivu: za kadmij 1,5 puta strože, za bakar više od 1 puta strože, za nikal je vrijednost identična, za olovo više od 2 puta strože, za cink je 1,5 puta strože dok živa ne prelazi maksimalno dopuštenu vrijednost. Granične vrijednosti koncentracija teških metala u tlu (mg/kg suhe tvari u reprezentativnom uzorku) i koncentracija teških metala koji se godišnje mogu dodati poljoprivrednom tlu (kg/ha/god) za pojedine teške metale, kao što je to učinjeno Direktivom, ovim Pravilnikom nisu propisane, već je to učinjeno Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08), i to dopuštanjem korištenja od najviše 1,66 tona suhe tvari mulja godišnje koristiti po hektaru poljoprivrednog zemljišta. Gospodarenja otpadom uređeno je Zakonom o otpadu (NN 87/09), međunarodnom Konvencijom o kontroli prekograničnog prometa opasnim otpadom i njegovom odlaganju - Baselska konvencija (NN - Međunarodni ugovori, 3/94), Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 23/07 i 111/07) i više podzakonskih propisa koji reguliraju postupanje s posebnim kategorijama otpada. Sukladno Uredbi o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada(NN 50/05, 39/09), on je klasificiran prema kriterijima, s obzirom na svojstva kojima djeluje na zdravlje ljudi i okoliš kao otpad (mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda) je određen sljedećom kategorijama: Q9 - ostaci od procesa uklanjanja onečišćenja (npr. muljevi iz uređaja za pročišćavanje, prašina iz filtra za zrak, istrošeni filtri itd.).

Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi su navedena ograničenja u pogledu korištenja mulja, a koja se odnose na: sadržaj teških metala u mulju i poljoprivrednom tlu na kojem se koristi,

sadržaj organskih tvari u mulju, sadržaj patogenih mikroorganizama, vrstama tla i namjeni, količini suhe tvari mulja koja se smije godišnje koristiti na poljoprivredno tlo. Neugodan miris može se javiti pri razastiranju nedovoljno stabiliziranog mulja, stoga treba voditi brigu da se koristi dobro stabilizirani mulj, a kontrolira se na slijedeće pokazatelje: BPK_5, KPK i TOC (ukupni organski ugljik). Osim ovog Pravilnika u slučaju korištenja mulja u poljoprivredi, moraju se uzeti u obzir i zahtjevi navedeni u Pravilniku o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/2008), jer pod nazivom „gnojivo sa dušikom" podrazumijeva se i kompost te otpadni mulj nastao u procesu pročišćavanja otpadnih voda kućanstava ili komunalnih izvora, uključivo i mulj iz septičkih jama. Cilj ovog Pravilnika je zaštita područja podložnim eutrofikaciji i područjima ranjivima na nitrate, pa mulj treba koristiti umjereno i uravnoteženo zbog sprječavanja degradacije tla. Stoga Dio problema, tj. sprječavanje neželjenih posljedica, pronađen je u klasificiranju i regulaciji mulja prema Pravilniku, a u skladu s EU direktivom (86/278/EEZ). Ograničenja koja se odnose na koncentracije teških metala, u većini razvijenih zemalja EU (Belgija, Danska, Finska, Nizozemska, Švedska) su stroža od onih iskazanih Direktivom, jer je primijećeno da kod intenzivnog i dugogodišnjeg korištenja teški metali u mulju utječu na kakvoću hrane proizvedene na tom području, tako da će nova revizija propisa najvjerojatnije postrožiti veličine za teške metale. Mulj i tla na koji se odlaže, trebaju se uzorkovati i analizirati, te o tome voditi evidenciju prijave: količine proizvedenog mulja i isporučene količine za korištenje u poljoprivredi, sastav i svojstva mulja, vrste obrade koje se provode te imena i adrese sakupljača mulja i mjesta gdje se mulj koristi.

Direktivom o obradi komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ, 98/15/EZ), zahtijeva se kontrola ispuštanja i ponovnog korištenja kanalizacijskog mulja, a Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 87/10), kaže: „*Otpadni mulj nastao u procesu pročišćavanja otpadnih voda odlaže se i/ili koristi sukladno posebnim propisima o zaštiti okoliša"*.

Prema Zakonu o vodama (NN 153/09), gradovi i općine su dužni sakupiti i pročistiti komunalne otpadne vode prije njihova ispuštanja u prirodni prijemnik, u skladu s odredbama ovoga ili drugoga zakona. Isti zakon propisuje da je obrada mulja koji nastaje u procesu obrade otpadnih voda koju obavljaju pravne osobe organizirane u skladu sa zakonom kojim se uređuje komunalno gospodarstvo, a na temelju kojega obrada otpadnog mulja je njihova obveza, a ne tijela nadležnih za gospodarenje otpadom.

Osim Okvirne Direktive o vodama (2000/60/EZ), veoma važan cilj je ispuniti Direktivu pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ), što zahtijeva ozbiljan napor i velika financijska ulaganja. Stoga, mulj nastao pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda i gospodarenje muljem trebalo je riješiti u okviru Strategije upravljanja vodama budući da je Strategija trebala utvrditi točne projekcije količine, karakteristike i opcije konačnog zbrinjavanja mulja s uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. Sukladno Strategiji i Zakonu o vodama, treba izraditi Plan gospodarenja muljem, te Program koji će predvidjeti mjere zaštite. U Strategiji upravljanja vodama istaknuto je: „*Posebna pažnja će se posvetiti zbrinjavanju mulja u multidisciplinarnom planiranju odlagališta mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda*". Vodopravnom dozvolom koja se izdaje od strane Hrvatskih voda kao vodopravni akt u skladu sa Zakonom o vodama, za ispuštanje pročišćenih otpadnih voda sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, nije definirano postupanje s muljem niti je regulirana njegova kontrola količine i kakvoće, kao što je

to predviđeno za otpadne vode. Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 87/10), člankom 9. propisano je slijedeće: *„Pravne i fizičke osobe koje održavaju sustav javne odvodnje i pripadajući uređaj za pročišćavanje, uz vodopravnu dozvolu za ispuštanje otpadnih voda trebaju imati i dozvolu gospodarenja otpadom ministarstva nadležnog za zaštitu okoliša".*

Zakon o poljoprivredi (NN 66/01, 83/02) je jedan od postojećih temeljnih zakonskih akata koji regulira zaštitu poljoprivrednog zemljišta, dok Zakon o poljoprivrednom zemljištu (NN 152/08) uređuje pitanja zaštite poljoprivrednog zemljišta, uporabe poljoprivrednog zemljišta, promjena namjene poljoprivrednog zemljišta i naknada, raspolaganja poljoprivrednim zemljištem u vlasništvu države i nadzor.

Uspostava Sustava trajnog motrenja tla u Hrvatskoj nije zaživjelapa je za potrebe izvješćivanja o stanju okoliša, Agencija za zaštitu okoliša u suradnji s Agronomskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu je provela Projekt „Izrada programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom" od 2006. do 2009. godine, uz financijski doprinos Europske komisije u okviru programa LIFE.

Provedbeni propisi su: Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10) i Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/08). *Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10)* određuju se tvari koje se smatraju onečišćivačima poljoprivrednog zemljišta, njihove dozvoljene granične vrijednosti u tlu, mjere za sprječavanje onečišćenja zemljišta i kontrola onečišćenja zemljišta, s ciljem da se poljoprivredno zemljište zaštiti od degradacije i održi u stanju koje ga čini povoljnim staništem za proizvodnju zdravstveno ispravne hrane, radi zaštite zdravlja ljudi, životinjskog i biljnog svijeta, nesmetanog korištenja i zaštite okoliša.

Poljoprivredno zemljište smatra se onečišćenim kada sadrži više teških metala i potencijalno onečišćujućih elemenata od maksimalno dopuštenih količina (MDK), izraženo u mg/kg za pojedine vrste tla. Usporedba graničnih vrijednosti koncentracija teških metala u tlu, između Direktive 86/278/EEZ i Pravilnika dana je tablicom br.1. Onečišćujuće tvari su teški metali i potencijalno toksični elementi (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn), organske onečišćujuće tvari (pesticidi, industrijske kemikalije, nusproizvodi izgaranja i industrijskih procesa), radionuklidi i patogeni organizmi. Onečišćujućim tvarima smatraju se i tvari koje se uobičajeno unose u poljoprivredno zemljište, ali neadekvatno primijenjene (količine, vrijeme primjene, uvjeti u zemljištu i drugo) mogu prouzročiti štete po okoliš i/ili zdravlje ljudi.

Pravilnikom o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/2008) propisuju se opća načela dobre poljoprivredne prakse u korištenju gnojiva, razdoblje u tijeku godine kada nije dozvoljena primjena gnojiva na poljoprivrednim tlima, način primjene gnojiva na nagnutim terenima, vodom zasićenim tlima, plavljenom, smrznutom ili snijegom prekrivenom tlu, uvjeti za primjenu gnojiva blizu vodotoka, postupci primjene mineralnog i organskog gnojiva, veličina i svojstva spremnika za stajski gnoj. Uvjeti korištenja i postupanja s gnojivima propisani ovim Pravilnikom na područjima koja su podložna eutrofikaciji i ranjiva na nitrate.,a na ostalim područjima smatraju se preporukom korisnicima. Naime, pod nazivom „gnojivo sa dušikom" podrazumijeva se kompost i mulj sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, uključivo i mulj iz septičkih taložnica. Na područjima koja su ugrožena od poplava gnojivo se unosi u tlo kada završi razdoblje prijetnje od poplave i nakon što je isključena mogućnost plavljenja.

Na područjima zona sanitarne zaštite izvorišta i drugih ležišta voda, koja se koriste ili su namijenjena za javnu vodoopskrbu, gnojidba poljoprivrednog zemljišta provodi se prema propisima koji uređuju upravljanje vodama.

4. USKLAĐENOST HRVATSKOG I EUROPSKOG ZAKONODAVSTVA U PODRUČJU GOSPODARENJA OTPADOM

Hrvatska je u procesu usklađivanja s pravnom stečevinom Europske unije donijela Zakon o otpadu (NN 178/04, 111/06, 60/08, 87/09) i Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 23/07, 111/07) kojim je u potpunosti prenijela Direktivu o otpadu EU 2006/12/EZ. Strategija gospodarenja otpadom, potpuno je u skladu sa Zakonom o otpadu i direktivama EU, a osnovna načela Strategije su: izbjegavanje i smanjivanje nastajanja otpada te smanjivanje njegovih opasnih svojstava, ponovna uporaba-recikliranje i/ili oporaba te načelo da je samo otpad koji se može racionalno iskoristiti namijenjen odlaganju na način prihvatljiv za okoliš.

Zakonom o otpadu (NN 87/09) uređuje se gospodarenje otpadom u skladu s Direktivom Vijeća o otpadu 91/156/EZ. Navedeno predstavlja pravni temelj za donošenje planova gospodarenja otpadom i provedbenih propisa: Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada (NN 50/05) i Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada (NN 39/09), pod ključnim brojem 19 08 05.

Sukladno Direktivi Vijeća 86/278/EEZ, doneseni su slijedeći propisi koji se odnose na područje gospodarenja muljem, a to su: Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) kojim su navedena ograničenja u pogledu korištenja mulja u poljoprivredi, Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92) i Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10) kojima se određuje koje se tvari smatraju štetnima za poljoprivredno zemljište, koje su to dozvoljene količine štetnih tvari u tlu te mjere za sprječavanje onečišćenja tla i kontrola onečišćenja tla, odnosno prema Nitratnoj direktivi 91/676/EEZ donesen je Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/08) čiji je cilj zaštita područja podložnih eutrofikaciji i područjima ranjivim na nitrate.

Pokazatelji	Granične vrijednosti koncentracija teških metala											
	Direktiva 86/278/EEZ			Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)			Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92)			Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćujućih tvari (NN 32/10)		
	u tlu (mg/kg) suhe tvari u reprez. uzorku	u mulju za primjenu u poljoprivredi (mg/kg) suhe tvari	koji se godišnje mogu dodati poljoprivrednom tlu (kg/ha/god)	u tlu (mg/kg) suhe tvari u reprez. uzorku	u mulju za primjenu u poljoprivredi (mg/kg) suhe tvari	koji se godišnje mogu dodati poljoprivrednom tlu (kg/ha/god)	u tlu (mg/kg) suhe tvari u reprez. uzorku	u mulju za primjenu u poljoprivredi (mg/kg) suhe tvari	koji se godišnje mogu dodati poljoprivrednom tlu (kg/ha/god)	u tlu (mg/kg) suhe tvari u reprez. uzorku	u mulju za primjenu u poljoprivredi (mg/kg) suhe tvari	koji se godišnje mogu dodati poljoprivrednom tlu (kg/ha/god)
kadmij (Cd)	1 - 3	20 - 40	0,15	0,5 – 1,5	5	-	1-2	10	-	0,5 - 2	-	-
bakar (Cu)	50 - 140	1000 - 1750	12	40 - 100	600	-	60-100	500	-	60 - 120	-	-
nikal (Ni)	30 - 75	300 - 400	3	30 - 70	80	-	50-60	100	-	30 - 75	-	-
olovo (Pb)	50 - 300	750 - 1200	15	50 – 100	500	-	100-150	500	-	50 - 150	-	-
cink (Zn)	150 - 300	2500 - 4000	30	100 - 200	2000	-	200-300	2000	-	60 - 200	-	-
živa (Hg)	1 – 1,5	16 - 25	0,1	0,2 - 1	5	-	1-2	10	-	0,5 – 1,5	-	-
krom (Cr)	-	-	-	50 - 100	500	-	60-100	500	-	40 - 120	-	-

Tablica 1: Granične vrijednosti koncentracija teških metala u europskim i hrvatskim propisima

5. KORIŠTENJE MULJA SA UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA POLJOPRIVREDNIM POVRŠINAMA

Temeljem Zakona o otpadu, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, uz suglasnost Ministra nadležnog za poljoprivredu, donijelo je Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi kojime se propisuje način gospodarenja muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kad se mulj koristi u poljoprivredi. Iz tablice br.1.vidljivo je da su propisane vrijednosti prema hrvatskom pravilniku znatno niže od onih u Direktivi. Također, pravilnikom su propisane smjernice za analizu mulja i analizu tla. Korisnik mulja mora voditi očevidnik o korištenju mulja i podnositi godišnje izvješće o proizvedenoj količini i korištenju mulja u poljoprivredi za svaku lokaciju i svako korištenje mulja, Agenciji za zaštitu okoliša, s tim da je sastavni dio godišnjeg izvješća, Izvješće o rezultatima analize tla. Obrasci o izvješćima i očevidniku su sastavni dio ovog Pravilnika.

Pozitivan primjer sagledavanja problematike zbrinjavanja otpadnog mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda prije nego je uređaj sagrađen je izrada procjene utjecaja na okoliš i Studije izvodljivosti zbrinjavanja otpadnog mulja. Cilj je dobivanje optimalnog tehničko-ekonomskog rješenja koje će biti izrađeno po načelima dobre prakse Europske unije u segmentu zaštite okoliša. Potrebno je pronaći koncepciju zbrinjavanja mulja koji će biti okolišno prihvatljiv i ekonomski isplativ, no nužno je napomenuti da se radi o pojedinačnim rješenjima.

Gospodarenje (obrada i zbrinjavanje) muljem sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda potrebno je regulirani **okolišnom dozvolom** budući da vodopravna dozvola služi isključivo kao dozvola za ispuštanje otpadnih (pročišćenih) voda.

U skladu sa Strategijom gospodarenja poljoprivrednim zemljištem u vlasništvu države donosi se Plan navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama, Plan gospodarenja nutrijentima kao i Plan korištenja gnojiva. Mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, kontroliran kroz propise, može se primjenjivati na poljoprivrednom zemljištu uz dozvolu regulatora, u skladu s Planom gospodarenje nutrijentima, Analizom metala i Kodeksom postupanja. Jedinice lokalne samouprave obvezne su donijeti Program raspolaganja poljoprivrednim zemljištem u vlasništvu države za svoje područje. Agencija za zaštitu okoliša inicirala je 2005. godine razvoj Sustava trajnog motrenja poljoprivrednih tala Hrvatske, a primjer izvješća za neke teške metale dana je u tablici br.2.

Pokazatelji	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg/kg							
Aritm.sred.	0,39	11,1	54,6	56,5	32,2	24,4	80,0
St.dev.	0,33	3,3	16,0	112	14,6	15,5	33,5
Minimum	0,06	3,68	11,5	3,64	9,3	7,2	27,1
Maksimum	4,94	27,0	134	700	158	216	420
MDK[1]	1 – 2	50	60-100	60-100	50-60	100-150	200-300
MDK[2]	0,8	30	50	30	50	50	150
MDK[3]	0,5-1,5	40-100	30-70	50-100	100-200	0,2-1	50-100

MDK[1] za poljoprivredno zemljište, NN 15/92,
MDK[2] za ekološku proizvodnju bilja, NN 12/01,
MDK[3] za gospodarenje muljem kad se koristi na poljoprivrednom zemljištu, NN 38/08.

Tablica 2. Sumarna statistika koncentracije metala površinskog sloja poljoprivrednih tala u Zagrebačkoj županiji

Prema „Pravilniku o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi“ (NN 38/08), određeno je da korisnik koji odlaže mulja na poljoprivredne površine mora osigurati provođenje analize tla, i to prije prvog korištenja, a zatim tijekom korištenja, jednom godišnje. Kako bi analize tla na kojem će se koristiti mulj bile što vjerodostojnije i kvalitetnije, potrebne su informacije o stvarnom stanju tzv. „nultom stanju“ tla, no trenutno je nedovoljno takvih podataka.

ZAKLJUČAK

Izbor načina i mjesta konačne dispozicije mulja, koji sadrži i određenu količinu hranjivih tvari koje je moguće iskoristiti, vrlo složen posao i ovisi o više činitelja kao: osobine otpadne vode, stupanj i način čišćenja otpadne vode, osobine i količina proizvedenog mulja, veličina uređaja za pročišćavanje, zakonskih propisa, mjesnih prilika, troškova izgradnje i održavanja, kao i o državnoj/regionalnoj koncepciji zbrinjavanja mulja sa cijelog niza manjih uređaja. Treba istaknuti da u slučaju izgradnje uređaja, kod kojeg nije riješeno konačno odlaganje mulja, nije završena izgradnja uređaja. Troškovi obrade i konačnog odlaganja nisu zanemarivi, te kod uređaja veličine od oko 5.000 do 200.000 ES, iznose približno 50% ukupnih troškova poslovanja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Nowak, O. i dr., 2003.).

Ne postoji jedinstven način konačne dispozicije mulja, a u odnosu na navedene činitelje potrebno je za svaki pojedini uređaj odabrati na koji će se siguran način konačno zbrinuti mulj. Najučestalije konačno zbrinjavanje obrađenog mulja je odlaganje, ponovo korištenje u poljoprivredi i za slične namjene, te spaljivanje u spalionicama.

Nakon postupka obrade, a ovisno o načinu konačne obrade, mulj je potrebno zbrinuti na održiv način što zahtijeva značajna financijska sredstava, no navedenoj obvezi u Hrvatskoj tek se u posljednje vrijeme pridaje odgovarajuća pažnja. U Europi se prije dvadesetak godina mulj odlagao u mora, što u Hrvatskoj nije bila praksa rad neizgrađenosti uređaja,

dok to nije zabranjeno 1998. godine. Potom se mulj intenzivno odlagao na sanitarna odlagališta, dok i navedeno nije ograničeno europskim i hrvatskim propisima (zabranjeno odlaganje mulja na odlagališta ukoliko sadrži više od 35% biorazgradive tvari). Uvođenjem koncepcije održivog razvitka u gospodarstvo, mulj se počinje koristiti za razne namjene.

Vodno gospodarstvo je skrbilo o kakvoći otpadnih voda, a problemi mulja su smatrani problemom komunalne tvrtke i odlaganja otpada na lokalnoj razini. U tom smislu, nije postojala adekvatna državna politika jer u strateškim dokumentima i zakonskoj regulativi problem mulja nije odgovarajuće tretiran. U potpunoj suprotnosti sa načelima zaštite okoliša, dok se prema učincima pročišćavanja otpadnih voda procjenjivao učinak rada uređaja, rad linije mulja i konačno zbrinjavanje mulja, bilo je zanemareno. Obzirom da se planira intenzivna izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za 294 aglomeracije veće od 2.000 ES, od toga za 62 aglomeracije koje imaju ispust u osjetljivo područje za koje se zahtjeva treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda, sve aktivnosti vezane uz zbrinjavanje mulja u Hrvatskoj se intenziviraju.

Planom gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine je navedeno da je gospodarenje muljem u nadležnosti pravnih osoba koje upravljaju uređajima za obradu otpadnih voda, a ne tijelima za gospodarenje otpadom. Shodno tome, smatra se da problem mulja treba riješiti u okviru Strategije upravljanja vodama, a zatim Planovima upravljanja vodama, te izraditi Program postupanja s muljem i stratešku procjenu utjecaja na okoliš, te utvrditi mjere zaštite okoliša, način izvještavanja o stanju okoliša i planove intervencija.

Uz nužnost donošenja planskih dokumenata, za pojedinačne sustave javne odvodnje potrebno je pronaći koncepciju zbrinjavanja mulja koja će biti okolišno prihvatljiva i ekonomski isplativa. Za takve građevine potrebno je izraditi procjenu utjecaja na okoliš (Studija utjecaja na okoliš) i Studije izvodljivosti zbrinjavanja otpadnog mulja. Osim lokacijske, građevne i uporabne dozvole, utvrđuju se objedinjeni uvjeti zaštite okoliša (okolišna dozvola), prema IPPC direktivi (96/61/EC) tj. Direktivi o integralnom sprječavanju i kontroli (industrijskih) onečišćenja.

Korištenje mulja u poljoprivredi predviđeno je trenutnim raspoloživim zakonskim propisima u Republici Hrvatskoj, tj . Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) koji sadrži odrednice primjene mulja na poljoprivrednom zemljištu kako ne bi došlo do onečišćenja tla i voda. **Odlaganje na odlagalištu otpada** je i zabranjeno Pravilnikom o načinu i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN117/07). Za obradu mulja termičkom oksidacijom ne postoje posebni propisi, već se primjenjuju propisi koji se koriste kod spaljivanja krutog otpada, odnosno propisa donesenih temeljem Zakona o zaštiti zraka kao i Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (NN 133/05). Zbog visokih investicijskih i pogonskih troškova, u Hrvatskoj je predviđeno mulj spaljivati zajedno sa ostalim otpadom u spalionicama otpada.

Nužno je pronaći koncepciju zbrinjavanja mulja koji će biti okolišno prihvatljiva i ekonomski isplativa. U načelu, odlaganje obrađenoga mulja, predviđa se projektnom dokumentacijom, kontrolira studijom izvodljivosti, ali je konačno rješenje u nadležnosti regionalne, odnosno lokalne uprave i samouprave. Stoga je nužno, prema navodima iz Strategije upravljanja vodama, na državnoj i regionalnoj razini, multidisciplinarno i uz

sudjelovanje svih relevantnih dionika (stakeholdera) donijeti strateške odluke o okolišno, gospodarski i društveno prihvatljivim tehnologijama i lokacijama zbrinjavanja mulja sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Sukladno potrebama održivog gospodarenja muljem sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i zahtjevima europske politike zaštite okoliša, u Republici Hrvatskoj potrebno je potaknuti unaprjeđenje zakonske regulative. Kako bi se očuvao okoliš, uz donesenu zakonsku regulativu, na državnoj i lokalnim razinama potrebno je izraditi odgovarajuće analize i izraditi kriterije i smjernice i planirati provedbu načina obrade i konačnog odlaganja mulja iz otpadnih voda.

Usklađivanjem propisa Republike Hrvatske s Direktivom (86/278/EEZ), povećat će se troškovi glede mjerenja, analiziranja, obrade mulja, uporabe i odlaganja. Dodatni troškovi upravljanja povezani s osiguranjem kvalitete, nezavisnom revizijom, certifikatima i sl. također se moraju uzeti u obzir. Svi troškovi će se odraziti na cijenu pružanja usluga pročišćavanja otpadnih voda, odnosno cijenu vode, te je stoga nužno osigurati njihova prihvatljivost.

LITERATURA

[1] Direktiva o otpadu 2006/12/EZ

[2] Direktiva o spaljivanju otpada 200/76/EEZ

[3] Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda 91/271/EEZ, 98/15/EZ

[4] Direktiva 86/278/EEZ o zaštiti okoline, posebno zemljišta kada se mulj koji nastaje kod pročišćavanja otpadnih voda primjenjuje u poljoprivredi

[5] Komisija europskih zajednica: *Izvješće o napretku za 2009.godinu*, Bruxelles, 14.listopada 2009.

[6] Okvirna direktiva o otpadu 75/442/EEZ

[7] Okvirna direktiva o vodama 200/60/EZ

[7] Okvirna direktiva za zaštitu tla 2004/35/EZ

[8] Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva (NN 56/08)

[9] Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)

[10] Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta onečišćujućim tvarima (NN 32/10)

[11] Strategija gospodarenja otpadom (NN 130/05)

[12] Strategija upravljanja vodama (NN 91/08) AUTOR

AUTOR

mr. sc. Gorana Ćosić-Flajsig, v. predavač

Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, Zagreb
gcflajsig@tvz.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 3.20.

PREGLED METODA OBRADE PROCJEDNIH VODA, PREDNOSTI I NEDOSTACI

Nenad Mikulić

SAŽETAK: U radu će se dati osnovne karakteristike procjednih voda, ovisnost njihovog sastava o starosti odlagališta, pregled metoda obrade, te prednosti i nedostaci svake od metoda. Najčešće korištene metode obrade procjednih voda u svjetskoj i domaćoj praksi su: biološka obrada, membranske tehnologije, fizička i kemijska obrada. U zadnje vrijeme obećavajući rezultati su dobiveni elektrokemijskim metodama te kombinacijom elektrokemijskih metoda i naprednih oksidacijskih procesa.

KLJUČNE RIJEČI: procjedne vode, biološka obrada, membranske tehnologije, fizička i kemijska obrada, elektrooksidacija

SURVEY OF THE TECHNIQUES FOR LANDFILL LEACHATE TREATMENT THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

SUMMARY: The paper will give the basic characteristics of landfill leachate, the dependence of their composition on the age of the landfill, an overview of processing methods, and advantages and disadvantages of each method. The most commonly used methods for treatment of leachate at the global and local practices are: biological treatment, membrane technology, physical and chemical treatment. Recently, promising results were obtained by electrochemical methods and a combination of electrochemical methods and advanced oxidation processes.

KEY WORDS: landfill leachate, biological treatment, membrane technology, physical and chemical treatment, electrooxidation

1. UVOD

U Republici Hrvatskoj postoje 284 službena odlagališta otpada koja se nalaze u različitim fazama sanacije i s različitim stupnjem tehničke opremljenosti. Sukladno Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN br. 117/07) a u svrhu zaštite voda na odlagalištu se mora osigurati odvođenje procjednih voda kroz drenažni sloj i njihovo sakupljanje izvan tijela odlagališta, a sakupljene procjedne vode moraju se obraditi prije ispusta u prijemnik prema propisima o zaštiti voda a prvenstveno prema Pravilniku o graničnim vrijednostima opasnih i drugih

tvari u otpadnim vodama (NN94/08). Mjerenje parametara procjedne vode provodi se svaka tri mjeseca i osim fizičko-kemijskih pokazatelja također obuhvaća količinu i sastav procjedne vode za vrijeme rada odlagališta.

Procjedne vode su smeđe do crne koloidne otopine koje nastaju cirkulacijom oborinske vode kroz tijelo odlagališta te biokemijskim procesima u otpadu u toku njegove razgradnje. Neugodnog su mirisa, visoke vodljivosti, s visokim organskim opterećenjem od čega više od 70 % čini organska tvar molekulske mase veće od 10 kDa. Osim navedenog procjedne vode su također karakterizirane visokim koncentracijama amonija koji nastaje destrukcijom proteina u tijelu odlagališta te povišenim do visokim vrijednostima teških metala. Količina i sastav efluenta ovise prvenstveno o vrsti i sastavu otpada, starosti odlagališta, stupnju uređenosti odlagališta te klimatskim parametrima. Starost odlagališta jedan je od najznačajnijih faktora koji utječe na sastav procjedne vode.

Najčešći određivani parametri u procjednim vodama su kemijska potrošnja kisika (KPK), petodnevna biokemijska potrošnja kisika (BPK_5), odnos BPK_5/KPK, pH, suspendirana tvar, NH_3-N i ukupni dušik (Kjeldahl). Navedeni parametri pokazuju široki raspon vrijednosti ovisno u prvom redu o starosti odlagališta. Iz dostupnih literaturnih podataka utvrđeno je (Renou i sur, 2008) da KPK varira u rasponu od 100 do 79000 mg/L; BPK_5 od 3-25000 mg/L; BPK_5/KPK od 0,01-0,7; pH 5,6-11,5 (najčešći raspon od 5,8-8,5); suspendirana tvar od 13 do > 5000 mg/L; ukupni dušik od 5-13000 mg/L od čega najveći postotak otpada na NH_3-N čije se koncentracije kreću od 0,2 do 13000 mg/L. Uočeno je da se vrijednosti KPK, BPK_5 i odnos BPK_5/KPK značajno smanjuju sa starošću odlagališta dok koncentracija amonija ostaje manje-više konstantna tijekom životnog vijeka odlagališta.

Zbog navedene kompleksnosti sastava u usporedbi s ostalim vrstama industrijskih efluenata procjedne vode su najteže obradive i da bi se postigla propisana kvaliteta izlaznog efluenta potrebna je primjena kombinacije metoda obrade. U nastavku teksta dan je pregled metoda obrade procjednih voda, njihovi osnovni rezultati te prednosti i nedostaci svake od metoda.

2. GLAVNI DIO

2.1. Biološka obrada

2.1.1 Aerirane lagune

Obrada procjedne vode u aeriranim lagunama je jednostavna, jeftina i vrlo efikasna metoda za uklanjanje patogena, organskih i anorganskih polutanata. Obzirom da za upravljanje ne zahtijeva posebne mjere održavanja kao ni visoko educirano osoblje ova metoda se vrlo često primjenjuje u zemljama u razvoju. U radu Maelhum i sur., 1995 ovim načinom pročišćavanja postignuto je uklanjanje ukupnog dušika, ukupnog fosfora i željeza iz razrijeđene procjedne vode preko 70%. Orupold i sur., 2000 postigli su sniženje KPK između 55-64%, dok je uklanjanje fenola variralo između 80-88%. Iako je zbog relativno niskih troškova obrade ovaj način pročišćavanja vrlo prihvatljiv ipak njegovo glavno ograničenje je što se njime ne mogu zadovoljiti zakonski propisane vrijednosti u pročišćenoj vodi. Osim toga obzirom da se radi o pročišćavanju temeljenom

na mikrobiološkoj razgradnji efikasnost metode značajno ovisi o temperaturi pa je dakle njena primjena i geografski limitirana.

2.1.2 Pročišćavanje na bazi aktivnog mulja

Pročišćavanje na bazi aktivnog mulja najčešća je metoda obrade komunalnih otpadih voda. Međutim, primjena ove metode na procjedne vode nije dala zadovoljavajuće rezultate. Glavni problemi se odnose na potrebu značajno duže aeracije u odnosu na komunalne vode te slabo i sporo taloženje mulja (Loukidou i Zouboulis, 2001). Daljnji nedostatak ove metode je osjetljivost na visoke koncentracije amonija (Lema i sur., 1998) i teških metala te na niske vrijednosti BPK_5/KPK (<0,3) što je čest slučaj kod starih odlagališta.

2.1.3 SBR postupak

SBR (eng. sequencing batch reactor) predstavlja diskontinuirani postupak obrade u kojem se u jednom bazenu-bioreaktoru sekvencijalno odvijaju pojedini stupnjevi ukupnog procesa obrade. Svaki ciklus obrade sastoji se od sljedećih 5 stupnjeva: (I) punjenje otpadne vode uz djelomičnu aeraciju (oko 75% volumena reaktora); (II) kontinuirani proces aeracije; (III) taloženje; (IV) ispust pročišćene vode (oko 65% volumena reaktora) te (V) ispust viška mulja (oko 10%) dok ostalih 25% volumena zrelog mulja ostaje za pokretanje biološke obrade u novom ciklusu pročišćavanja.

Ova metoda je pogodna za postupak nitrifikacije-denitrifikacije jer pruža operacijski režim koji omogućuje istodobnu oksidaciju organskog ugljika i nitrifikaciju. Postoje brojni radovi iz navedenog područja (Irvine i sur., 1984; Hosomi i sur., 1989; Zaloum i Abbott, 1997; Lin i Chang, 2000; Uygur i Kargi, 2004). U navedenim radovima postignuto je sniženje KPK od 62 do 75 %.

2.1.4 FBR postupak

FBR metoda (eng. fluidized bed reactor) se bazira na primjeni suspendiranih poroznih polimernih nosača koji se nalaze u stalnom gibanju u aeracijskom tanku dok aktivna biomasa raste na njima u formi biofilma. Osnovne prednosti ove metode očituju se u većoj koncentraciji biomase, bržem taloženju i manjoj osjetljivosti na toksične tvari (Loukidou i Zouboulis, 2001) te visoki stupanj uklanjanja kako organske tvari tako i amonija. Welander i sur., 1998 su postigli gotovo 90%-tno uklanjanje dušika dok se sniženje KPK kretalo oko 20%.

2.2 Fizička i kemijska obrada

2.2.1 Koagulacija/flokulacija

Koagulacija/flokulacija se često uspješno primjenjuje za obradu procjednih voda. Često se koristi kao predtretman prije biološke ili membranske obrade a također i kao završna obrada za uklanjanje rezidualne organske tvari koja nije podložna biorazgradnji (Amokrane i sur., 1997; Monje Ramirez i Orta de Velasquez, 1998; Zamora i sur., 2000; Wang i sur., 2002; Tatsi i sur., 2003; Silva i sur., 2004; Zouboulis i sur., 2004). Najčešće korišteni flokulanti su sulfati aluminija i željeza. Provedena su brojna istraživanja u svrhu

utvrđivanja najboljeg koagulanta za ovu vrstu otpadnih voda kao i dobivanje optimalnih uvjeta obrade. Iz gore navedenih radova moguće je zaključiti da su soli željeza učinkovitije za sniženje KPK u odnosu na kalcijeve i aluminijeve soli. Nedostatak ove metode je visoka produkcija mulja te povećanje koncentracije željeza i aluminija u pročišćenoj vodi.

2.2.2 Kemijsko taloženje

Kemijsko taloženje se vrlo često koristi za predobradu procjednih voda u svrhu uklanjanja visokih koncentracija NH_4^+-N koji ukoliko se ne ukloni može značajno utjecati na biološku obradu (Li i sur., 1999). Najčešći način uklanjanja NH_4^+-N je njegovo taloženje u formi magnezij-amonij-fosfata (struvit) koji je jedini slabo topljiv spoj amonija. Taloženje se postiže dodatkom $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ i $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ u omjeru $Mg/NH_4/PO_4$ 1/1/1 i pH 8.5–9. Koncentracija amonija je snižena sa 5600 na 110 mg/L u roku od 15 minuta. Yangin i sur., 2002 i Altinbas i sur., 2002 su primjenili taloženje amonija u formi magnezij-amonij-fosfata nakon anaerobne obrade smjese komunalnih i procjednih voda. Postignuto je maksimalno uklanjanje amonija od 66% na pH 9.3 pri stehiometrijskom odnosu $Mg/NH_4/PO_4$ 1/1/1.

2.2.3 Adsorpcija

Najčešće korišten adsorbens je aktivni ugljen. Adsorpcijom na aktivni ugljen na koloni ili u praškastom obliku postižu se značajno bolji rezultati u sniženju KPK u odnosu na kemijske metode bez obzira na ulazne koncentracije organske tvari u procjednoj vodi (Fettig i sur., 1996; Zamora i sur., 2000; Cecen i sur., 2003). Glavni nedostatak metode očituje se u potrebi česte regeneracije kolone i značajnom utrošku aktivnog ugljena ukoliko se koristi u praškastom obliku. Adsorpcija na aktivni ugljen koristi se često u kombinaciji s biološkom obradom. Na taj način postižu se znato bolji rezultati pri uklanjanju teško razgradive organske tvari i boje. Postotak uklanjanja KPK u kombinaciji s drugim metodama kretao se oko 85%.

2.2.4 Kemijska oksidacija

Kemijska oksidacija ima široku primjenu u obradi otpadnih voda s visokim organskim zagađenjem pa tako i procjednih voda. Napredni oksidacijski procesi imaju sve veću primjenu. Njihova svrha je oksidacija organske tvari do završnih produkata (CO_2 i H_2O) te povećanje biorazgradivosti teško razgradive organske tvari kao predtretman biološkoj obradi. Većina ovih postupaka osim ozoniranja koriste kombinaciju jakih oksidansa kao što su ozon i vodikov peroksid, ozračivanje UV zrakama, ultrazvuk ili snopove elektrona i katalizatore kao što su prelazni metali ili fotokatalizatori (Huang i sur., 1993; Renou i sur., 2008). Napredni oksidacijski procesi mogu se podijeliti u sljedeće kategorije (Renou, 2008):

(1) Homogeni sustav uz primjenu ozračivanja: O_3/UV; H_2O_2/UV; elektronski snop; ultrazvuk; H_2O_2/ultrazvuk; UV/ultrazvuk i H_2O_2/Fe^{2+}/UV (foto Fenton);

(2) Homogeni sustav bez ozračivanja: O_3/H_2O_2; O_3/OH^-; H_2O_2/Fe^{2+} (Fenton)

(3) Heterogeni sustav sa ozračivanjem; TiO_2/O_3/UV; TiO_2/ H_2O_2/ UV;

(4) Heterogeni sustav bez ozračivanja: Elektro-Fenton

Primjenom samo ozona dobri rezulti se postižu jedino u slučaju tercijarne obrade procjednih voda (redukcija KPK od 50-70%) dok se primjenom ove metode bez prethodnog tretmana dobiva sniženje KPK oko 30%. Znatno bolji rezultati postižu se kombinacijom oksidansa (O_3/H_2O_2) ili oksidansa i UV zračenja (H_2O_2/UV) čime se postiže sniženje KPK i do 90%. Fentonovom reakcijom postiže se sniženje KPK između 45 i 75% dok se foto-Fentonovim procesom postižu bolji rezultati koji se kreću u rasponu od 70-78%. Uočen je također značajan napredak u biorazgradivosti procjedne vode nakon Fentontonove obrade.

2.2.5 Stripiranje

Stripiranje je najčešće korištena metoda za uklanjanje amonija iz otpadnih voda. Međutim, efikasno uklanjanje NH_4^+-N zahtijeva visoke pH vrijednosti a nastala plinovita faza mora se obrađivati sa H_2SO_4 ili HCl. Marttinen i sur., 2002 su postigli 89%-tno uklanjanje NH_4^+-N na pH 11 nakon 24 satnog stripiranja. Još bolje rezultate postigli su Cheung i sur., 1997 također nakon 24 satnog stripiranja gdje je koncentracija NH_4^+-N smanjena za 93%. Ozturk i sur., 2003 su postigli 85%-tno uklanjanje NH_4^+-N nakon 17 sati stripiranja, a Silva i sur., 2004 smanjili su ulaznu koncentraciju NH_4^+-N za 99,5% ali nakon znato dužeg vremena stripiranja (120 h). Glavni nedostatak ove metode je moguće zagađenje zraka ispuštanjem plinovitog NH_3 ukoliko se ne osigura njegova apsorpcija bilo u H_2SO_4 ili HCl kiselinu. Ukoliko se koristi vapno za podizanje pH vrijednosti otpadne vode često se događa taloženje kalcij karbonata na stijenkama tornja za stripiranje.

2.3 Membranske tehnologije

2.3.1 Mikrofiltracija

Mikrofiltracija (MF) se koristi za predobradu procjedne vode u svrhu izdvajanja suspendirane tvari i koloidnih čestica prije završne obrade nekom drugom membranskom tehnologijom (ultrafiltracija, nanofiltracija, reverzna osmoza) ili u kombinaciji s kemijskom obradom.

2.3.2 Ultrafiltracija

Iako je ultrafiltracija (UF) vrlo efikasna u uklanjanju makromolekula efikasnost ove metode je vezana uz vrstu materijala membrane. Zbog mogućnosti uklanjanja molekula veće molekulske mase često se koristi kao predtretman prije reverzne osmoze (Syzdek i Ahlert, 1984). Sniženje KPK ovom metodom kreće se između 10 i 75%. Ukoliko se koristi u membranskom bioreaktoru efikasnost uklanjanja značajno raste (oko 90%) (Peters, 1998).

2.3.3 Nanofiltracija

Nanofiltracijom (NF) se postiže visok stupanj uklanjanja organskog, anorganskog i mikrobiološkog onečišćenja. Princip separacije se zasniva na steričkom i Donnan-ovom efektu. Donnan-ov potencijal koji nastaje između aniona prisutnih u membrani i kationa prisutnih u efluentu spriječava prolazak kationa kroz membranu. Postotak uklanjanja

KPK i ukupnog dušika najčešće se kreće između 60 i 80%, a suspendirane tvari i mutnoće iznad 99% (Renou i sur., 2008).

2.3.4 Reverzna osmoza (RO)

Od svih membranskih tehnologija reverzna osmoza (RO) se pokazala najučinkovitijom za obradu procjednih voda. Moguće je postići uklanjanje KPK i teških metala iznad 99% (Renou i sur., 2008).

2.4 Elektrokemijske metode

Elektrokemijska oksidacija je jedna od najčešće korištenih elektrokemijskih metoda za obradu procjednih voda (Deng i Engelhart, 2007). Bitna prednost ove metode je mogućnost direktne oksidacije teško razgradive organske tvari u CO_2 i vodu. Elektrooksidacija onečišćujućih tvari u otpadnim vodama se odvija kroz dva različita mehanizma:

(1) indirektna anodna oksidacija, pri čemu se oksidacija organske tvari i amonija odvija pomoću elektrokemijski generiranih reaktivnih oksidativnih produkata kao što su klor i hipoklorit, vodikov peroksid, ozon. Isto tako u slučaju korištenja željezne anode može doći do indirektne anodne oksidacije posredstvom hidroksil radikala stvorenog u elektro-Fenton reakciji iz elektrokemijski generiranih Fe^{2+} i vodikovog peroksida.

(2) direktna anodna oksidacija koja uključuje dva procesa: (a) elektrokemijsku pretvorbu i (b) elektrokemijsko izgaranje.Tijekom elektrolize, mogu elektrokemijski na anodi nastati dvije vrste aktivnog kisika. Jedan je kemijski vezan u strukturi anode i odgovoran je za kemijsku pretvorbu organske tvari dok je drugi adsorbiran na površini anode u formi hidroksil radikala i odgovoran je za elektrokemijsko izgaranje. Tijekom elektrokemijske pretvorbe, dolazi do djelomične oksidacije organske tvari u lakše razgradljive spojeve prikladne za biološku razgradnju dok kod elektrokemijskog izgaranja dolazi do potpune razgradnje organske tvari u CO_2 i vodu.

U realnim uvjetima oksidacija organske tvari i amonija u procjednoj vodi najvećim djelom se odvija posredstvom indirektne anodne oksidacije pomoću slobodnog klora i hipoklorita koji nastaju oksidacijom klorida (inicijalno prisutnih u otpadnoj vodi) na anodi. Postotak uklanjanja ovisi o sastavu efluenta (ovisno o starosti odlagališta), materijalu anode, jakosti struje, koncentraciji elektrolita (kloridi, sulfati) i vremenu trajanja procesa. Na ovaj način moguće je ukloniti preko 90% KPK, preko 99% boje te gotovo 100% amonija. Bolji rezultati se postižu kombinacijom elektrooksidacije i elektrokoagulacije.

ZAKLJUČAK

Godinama su klasične biološke i fizičko-kemijske metode smatrane najprihvatljivijim pristupom za obradu procjednih voda. Kada se radi o procjednoj vodi sa mladih odlagališta biološkim metodama se postiže zadovoljavajući učinak u smislu sniženja KPK, NH_3-N i teških metala. Međutim, u slučaju procjedne vode sa stabiliziranog odlagališta uz prethodnu biološku obradu potrebna je i sekundarna fizičko-kemijska obrada za uklanjanje teško razgradljive organske tvari i amonija. Međutim, povišenjem kriterija za ispust u okoliš u sve većem broju zemalja te starenjem odlagališta klasične biološke i fizičko-kemijske metode zasebno ili u kombinaciji ne mogu dati zadovoljavajuće rezultate za ispust u okoliš.

Znatno bolji rezultati postižu se kombinacijom naprednih oksidacijskih procesa. Međutim, glavni nedostatak naprednih oksidacijskih procesa je velik utrošak električne energije za pokretanje ozonatora, UV lampi, uređaja na bazi ultrazvuka što rezultira visokim troškovima obrade. Isto tako da bi se postigla potpuna mineralizacija organske tvari potrebne su visoke doze oksidansa što znatno povisuje troškove obrade. Međutim, kod primjene visokih doza može doći do stvaranja međuprodukata koji mogu biti toksičniji u odnosu na polazni sastav. Pregledom svih dostupnih podataka vezanih za napredne oksidacijske procese moguće je zaključiti da je Fentonov proces optimalan u smislu ukupne cijene obrade te sniženja toksičnosti ulaznog efluenta. Jedini nedostatak metode je potreba rada na niskim pH vrijednostima.

U smislu zadovoljavanja zakonskih kriterija u zadnjih 20 godina razvijaju se nove metode bazirane na membranskoj tehnologiji. Iako se na ovaj način postižu zadovoljavajući rezultati u uklanjanju kako organskog tako i anorganskog onečišćenja posebno u slučaju korištenja nanofiltracije i reverzne osmoze glavni nedostatak membranskih tehnologija je potreba predtretmana te pojava začepljenja membrane nerijetko i ireverzibilnog usljed obraštaja te gubitka integriteta membrane što dodatno povećava troškove obrade. Reverzna osmoza također zahtijeva znatan utrošak energije zbog visokih tlakova (iznad 10 MPa) potrebnih u procesu pročišćavanja.

U slučaju procjednih voda sa starih odlagališta s vrlo niskim BPK_5/KPK odnosom i visokim udjelom toksičnih komponenata elektrokemijske metode se mogu smatrati metodama izbora za obradu ove vrste efluenta. Činjenica da ne ovise o temperaturnim promjenama efluenta i ne zahtijevaju dodavanje kemikalija budući da se produkti potrebni za obradu efluenta generiraju elektrokemijski u reakcijskoj posudi daje značajnu prednost ovim metodama u odnosu na biološke i elektrokemijske metode.

LITERATURA

[1] Altinbas, M, Yangin, C, Ozturk, I, (2002): Struvite precipitation from anaerobically treated municipal and landfill wastewaters, Water Science & Technology, 46, 271–278.

[2] Amokrane, A, Comel, C, Veron, J, (1997): *Landfill leachates pretreatment by coagulation–flocculation*, Water Research, 31. 2775–2782.

[3] Cecen, F, Erdincler, A, Kilic, E, (2003): Effect of powdered activated carbon addition on sludge dewaterability and substrate removal in landfill leachate treatment, Advanced Environmental Research, 7, 707–713.

[4] Cheung, KC, Chu, LM, Wong, MH, (1997): *Ammonia stripping as a pretreatment for landfill leachate*, Water Air Soil Pollution, 94, 209–221.

[5] Deng , Y, Englehardt, JD, (2007): *Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment*, Waste Management, 27, 380–388.

[6] Fettig, J, Stapel, H, Steinert, C, Geiger, M, (1996): *Treatment of landfill leachate by preozonation and adsorption in actived carbon columns*, Water Science & Technology, 34, 33–40.

[7] Hosomi, M, Matsusige, K, Inamori, Y, Sudo, R, Yamada, K, Yoshino, Z, (1989):

Sequencing batch reactor activated sludge processes for the treatment of municipal landfill leachate: removal of nitrogen and refractory organic compounds, Water Science & Technology, 21, 1651–1654.

[8] Huang, CP, Dong, C, Tang, Z, (1993): *Advanced chemical oxidation: its present role and potential future in hazardous waste treatment*, Waste Management, 13, 361–377.

[9] Irvine, RL, Sojka, SA, Colaruotolo, JF, (1984): *Enhanced biological treatment of leachates from industrial landfills*, Hazardous Waste, 1, 123–135.

[10] Lema, JM, Mendez, R, Blazquez, R, (1988): *Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review*, Water Air Soil Pollution, 40, 223–250.

[11] Li, XZ, Zhao, QL, Hao, XD, (1999): *Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation*, Waste Management, 19, 409–415.

[12] Lin, SH, Chang, CC, (2000): *Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencing batch reactor method*, Water Research, 34, 4243–4249.

[13] Linde, K, Jonsson, A-S, (1995): *Nanofiltration of salt solutions and landfill leachate*, Desalination, 103, 223–232.

[14] Loukidou, MX, Zouboulis, AI, (2001): *Comparaison of two biological treatment process using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment*, Environtal Pollution 111, 273–281.

[15] Maehlum, T, (1995): *Treatment of landfill leachate in on-site lagoons and constructed wetlands*, Water Science & Technology, 32, 129–135.

[16] Marttinen, SK, Kettunen, RH, Sormunen, KM, Soimasuo, RM, Rintala, JA, (2002): *Screening of physical–chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates*, Chemosphere, 46, 851–858.

[17] Monje Ramirez, I, Orta de Velasquez, MT, (2004): *Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized saline landffill leachates by coagulation–ozonation coupling process*, Water Research, 38, 2605–2613.

[18] Orupold, K, Tenno, T, Henrysson, T, (2000): *Biological lagooning of phenolscontaining oil shale ash heaps leachate*, Water Research, 34, 4389–4396.

[19] Peters, TA, (1998): *Purification of landfill leachate with membrane filtration*, Filtration & Separation, 35, 33–36.

[20] Renou, S, Givaudan, JG, Poulain, S, Dirassouyan, F, Moulin, P, (2008): *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*, Journal of Hazardous Materials, 150(3), 468-493.

[21] Silva, AC, Dezotti, M, Sant'Anna Jr., GL, (2004): *Treatment and detoxication of a sanitary landfill leachate*, Chemosphere, 55, 207–214.

[22] Syzdek, AC, Ahlert, RC, (1984): *Separation of landfill leachate with polymeric ultrafiltration membranes*, Jurnal of Hazardous Materials, 9, 209–220.

[23] Tatsi, AA, Zouboulis, I, Matis, K,A, Samaras, P, (2003): *Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates*, Chemosphere, 53, 737–744.

[24] Uygur, A, Kargi, F, (2004): *Biological nutrient removal from pre-treated landfill leachate in a sequencing batch reactor*, Journal of Environmental Management, 71, 9–14.

[25] Yangin, C, Yilmaz, S, Altinbas, M, Ozturk, I, (2002): *A new process for the combined treatment of municipal wastewaters and landfill leachates in coastal areas*, Water Science & Technology, 46, 111–118.

[26] Wang, Z-P, Zhang, Z, Lin, Y-J, Deng, N-S, Tao, T, Zhuo, K, (2002): *Landfill leachate treatment by a coagulation–photooxidation process*, Journal of Hazardous Materials, 95, 153–159.

[27] Welander, U, Henrysson, T, Welander, T, (1998): *Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process*, Water Research, 4, 95–102.

[28] Zaloum, R, Abbott, M, (1997): *Anaerobic pretreatment improves single sequencing batch reactor treatment of landfill leachates*, Water Science & Technology, 35, 207–214.

[29] Zamora, R, Moreno, A, Orta de Velasquez, M, Ramirez, I, (2000): *Treatment of landfill leachates by comparing advanced oxidation and coagulation–floculation processes coupled with actived carbon adsorption*, Water Science & Technology, 41, 231–235.

[30] Zouboulis A,, Chai, X, Katsoyiannis, I, (2004): *The application of bioflocculant for the removal of humic acids from stabilized landfill leachates*, Journal of Environmental Management, 70, 35–41.

AUTOR

Dr. sc. Nenad Mikulić

Ministarstvo zaštite okoliša prostornog uređenja i graditeljstva, Republike Austrije 32, Zagreb, nenad.mikulic@mzopu.hr

TEMA 4.

VODNA POLITIKA, OBRAZOVANJE, VODNOGOSPODARSKO PLANIRANJE, MEĐUNARODNA SURADNJA I SUDJELOVANJE JAVNOSTI

Recenzenti:

Danko Biondić, Sanja Barbalić, Nenad Leder, Davor Malus, Jure Margeta, Nevenka Ožanić, Siniša Širac, Ranko Žugaj

R 4.01.

OBRAZOVANJE I VODNO GOSPODARSTVO

Ivana Gudelj, Jasna Hrenović, Lidija Runk Luttenberger, Ankica Senta Marić, Mario Šiljeg, Vice Šoljan

SAŽETAK: U svakoj društvenoj zajednici se nalaže potreba za obrazovanjem javnosti o važnosti vode za čovjeka, te o njenoj zaštiti i očuvanju. Obrazovanje je potrebno kako za osobni razvoj, tako i za bolje razumijevanje procesa u prirodi, za shvaćanje međudjelovanja između tih procesa i društvene zajednice, a u konačnici je potrebno za opći prosperitet društva. U današnje vrijeme je postojana svijest o održivom razvoju kao nužnom i jedinom mogućem načinu skladnog suživota čovjeka s okolišem. Vodno gospodarstvo je veoma važno za postizanje održivog razvoja, a predstavlja izrazito zahtjevnu i dinamičnu djelatnost. Ovaj rad ukazuje na činjenicu da uspješnost rezultata koji proizlaze iz truda i investicija uloženih u vodno gospodarstvo u velikoj mjeri ovisi upravo o obrazovanosti i iskustvu eksperata iz tog područja, kao i sudjelovanju šire javnosti.

KLJUČNE RIJEČI: obrazovanje, održivi razvoj, vodni resursi, vodno gospodarstvo

EDUCATION AND WATER MANAGEMENT

SUMMARY: In every society, there is a need for education about the importance and protection of water resources. The education is needed for personal development, for better understanding of the processes that sustain natural systems, for understanding the function of those systems and how they interact with one another and with human society. Finally education is needed for societies to prosper. Nowadays there is present the awareness that sustainable development is the only possible way for humans to live in accordance with the environment. Water resources management is particularly important part of sustainable development which appears to be rapidly changing discipline. This paper is pointing at the fact that the results of the efforts made in water management field and investments put into it depend to a large extent upon the knowledge and experience of experts who are involved and also successful public participation and contribution.

KEYWORDS: education, sustainable development, water resources, water management

1. UVOD

Jedan od najvećih izazova današnjeg čovječanstva, a očekuje se da će biti i u budućnosti, je upravo upravljanje vodnim resursima. Intenzivan porast broja stanovnika, sve inten-

zivnija industrijska i poljoprivredna proizvodnja, te klimatske promjene poticaji su za još intenzivnije uvažavanje vode i njenog održivog korištenja. Rješavanje problema s kojima se moderno vodno gospodarstvo suočava iziskuje primjenu sve zahtjevnijih zakonodavnih, znanstvenih i tehnoloških umijeća, kao i temeljitije razumijevanje ekoloških, socioloških i političkih čimbenika. Kako su svi oblici života i sve ljudske aktivnosti ovisne o vodi iznimna je važnost tog resursa, a isto tako i odgovornosti čovjeka prema njoj. Na svjetskom nivou dostupnost pitke vode je sve manja, a njena cijena postaje sve većom. Iako se Hrvatska po kapacitetu raspoložive vode svrstava među bogatije zemlje u Europi, nema opravdanja za manju brigu o vodi ili za njeno neracionalno korištenje.

2. GLAVNA OBILJEŽJA VODNOG GOSPODARSTVA

Osnovne djelatnosti vodnog gospodarstva su: sigurna vodoopskrba, pouzdana odvodnja, učinkovita obrada otpadnih voda, uz poželjnu provedbu ponovne uporabe pročišćene vode, te obrana od poplava. Opsežan je to skup aktivnosti koje prožimaju cjelovit ekološki sustav, a svojom kompleksnošću i međusobnom povezanošću iziskuju zahtjevnu strategiju.

2.1. Aktualni izazovi kojima je voda izložena

Na svom putu od oblaka do slavine potrošača voda nailazi na brojne izazove koji utječu na očuvanje njene kvalitete. Najučestalija aktualna odstupanja u kakvoći pitkih voda se dešavaju uslijed ispuštanja potpuno nepročišćenih ili nedovoljno pročišćenih otpadnih voda u prirodne recipijente, uslijed obavljanja poljoprivrednih aktivnosti, znatnog povećanja cestovnog prometa i povećanog broja akcidenata u transportu štetnih tvari s neželjenim posljedicama za okoliš. U smislu zaštite i prevencije od onečišćenja izvora čiste vode čovjek je dužan pružiti maksimum svog umijeća, a pri odabiru tehnologije za kondicioniranje vode prije uporabe, njenu dostavu do potrošača, te naknadnu obradu otpadne vode prije ponovnog ispuštanja u prirodu nastojati dosegnuti cjenovni minimum (Gudelj i drugi, 2010).

2.1. Stanje u vodnom gospodarstvu hrvatske

U vodnom gospodarstvu Hrvatske inovacije su izuzetno potrebne, obzirom na činjenicu da je voda sirovina od strateškog značaja i opće dobro koje ne poznaje vlasnike ni granice. U tijeku su nastojanja oko postizanja implementacije potpisanih Direktiva i usklađivanja domaće legislative s pravnom stečevinom EU. Započet je veliki broj projekata čije vrijeme realizacije mora biti ubrzano kako bi se pravovremeno uspjela ishoditi financijska sredstva predpristupnih fondova (Gudelj i drugi, 2009). Izazovan je to period, jer brzina provedbe projektnih angažmana pogoduje pogreškama, a pogreške u kapitalnim projektima vodnog gopspodarstva su skupe i u konačnici ih snose građani. Izazovi i rješenja vodnog gospodarstva u 21. stoljeću će generalno, za razliku od specijaliziranog i hiperindividualiziranog privređivanja tijekom 20. stoljeća, zahtijevati visoku razinu interdisciplinarne suradnje, te sudjelovanje šire javnosti, pri čemu se će ekosustav služiti kao model suradnje i biti vrednovan kao temeljni društveni kapital (Jorgensen, 2007, Babones, 2010).

3. OBRAZOVANJE ZA DOBROBIT VODNOG GOSPODARSTVA

Trajni je i veliki izazov današnjeg vremena osigurati dovoljnu količinu kvalitetne i zdravstveno ispravne vode. Da bi se to postiglo potrebna je implementacija takvog specifičnog znanja koje, unatoč sve intenzivnijem negativnom pritisku čovjeka na okoliš, omogućava konstantno očuvanje kakvoće izvora pitkih voda, učinkovito pročišćavanje otpadnih voda i ophođenje sa izvanrednim okolnostima, kao što su to poplave i ekološki akcidenti, koje negativno utječu na stabilnost vodnog gospodarstva (Milković i Tropan, 2008). Vodno gospodarstvo zahtijeva timski rad, stručan holistički pristup pojedinom projektnom zahvatu, te kritički osvrt na to da li postojeći fond znanja i stupanj educiranosti involviranih stručnjaka zadovoljava postojećim izazovima i zadanim ciljevima. Kako bi voda neke društvene zajednice bila dostatno uvažena, očuvana, racionalno korištena, tehnološki primjereno i ekonomski prihvatljivo obrađivana nužno je potrebno konstantno ulagati u obrazovanje (Hahn, 2007).

3.1. Tko sve treba biti obrazovan o vodi?

O važnosti vode treba komunicirati sa svim građanima, na način da se prethodno utvrde ciljne skupine, što je potrebno iz tog razloga da se svakoj ciljnoj skupini upute one poruke koje su primjerene njenim osobinama i koje će moći razumjeti (Newig i drugi, 2005).

3.1.1. Obrazovanje u vrtićima, školama i na sveučilištima

Ovoj skupini pripadaju oni koji polazno još ne znaju što vodno gospodarstvo zapravo predstavlja. Brojne su metode kojima se dana obrazovna problematika može uvesti ili intenzivirati u odgojno obrazovnim ustanovama: tematskom nadopunom postojećeg predmeta, uvođenjem novog predmeta, kreiranjem i podjelom prospektnih materijala, CD-ima i kompjuterskim programima sa sadržajima o vodoopskrbi, odvodnji, te informacijama kako je vodno gospodarstvo koncipirano i funkcionira. Od iznimne važnosti može biti organiziranje terenskog posjeta onih mjesta gdje je prirodna kakvoća vode ugrožena, kao i sustava za kondicioniranje pitkih i obradu otpadnih voda. Navedene i druge kreativno osmišljene aktivnosti rezultiraju stjecanjem dragocjenog fonda znanja polaznika, koje je nadalje korisno, kako za očuvanje vode i njenu racionalnu uporabu, tako i za cijeli okoliš. Nakon prolaska kroz obrazovni proces, koji obuhvaća ne samo općenite nego i za vodu specifične teme, polaznici postaju naraštajem potrošača koji se savjesno ophodi s vodom, a neki od njih koje problematika iznimno zainteresira odabiru vodu kao predmet svog daljnjeg profesionalnog životnog interesa.

3.1.2. Obrazovanje glavnih potrošača i onečišćivača voda

Grupa s kojom je također jako važno provesti obrazovanje su glavni potrošači, a istovremeno i glavni zagađivači vodnih resursa – ljudi iz poljoprivrede, industrije i kućanstava. Od iznimnog je značenja provedba obrazovnog programa gospodarenja vodom ljudi uključenih u ove sektore, jer se rezultat jako pozitivno reflektira na ključne segmente vodnog gospodarstva kao što su preventivna zaštita vodnih resursa i odvodnja. Obrazovanje je moguće provoditi: dostavom prospektnih materijala, televizijskim programima, radijskim emisijama, telefonski, sastancima, seminarima, vježbama, radionicama i internet

konferencijama. Pristup internetu je jedan od glavnih čimbenika provedbe učinkovite edukacije, jer omogućava dostupnost informacija i komunikaciju svima, koji jesu u urbanim centrima, a isto tako i onima koji su krajnje dislocirani, što je karakteristično za poljoprivredu i neke industrije.

3.1.3. Obrazovanje ekspertnih stručnjaka i donosioca odluka

Ljudi uključeni u vodno gospodarstvo kroz zakonodavstvo, upravljanje, koordiniranje, znanstveno istraživanje, vođenje i nadzor sustava vodoopskrbe i odvodnje, trebaju svakodnevne pripreme za svoj rad, pri čemu je njihova dobra profesionalna informiranost od primarnog značaja. U načelu ne postoji dostatna sveučilišna izobrazba koja bi omogućila da po završetku iste pojedinac bude stručno pripravan za svoj trajno uspješan angažman u vodnom gospodarstvu. Vodno gospodarstvo je u zakonodavnom i operativnom smislu izuzetno dinamično, a da bi se ta dinamičnost mogla pratiti djelatnici moraju stalno aktualizirati i obogaćivati svoja znanja i vještine. Ovoj grupi stručnjaka su potrebna stalna sudjelovanja na radionicama i visokospecijaliziranim tečajevima, kako bi bili u mogućnosti razmjenjivati informacije, upoznavati nove metode i vještine kao podlogu za obogaćivanje postojećih vještina i oplemenjivanje svog rada. Snaga vodnog gospodarstva, kao djelatnosti iznimnog gospodarskog značaja, bi trebala svakako počivati na stručnosti visokospecijaliziranih pojedinaca i institucija udruženih u lanac visokog potencijala multidisciplinarnog znanja. Kad je jednom postignut timski menadžment vodnih resursa zadovoljavajuće kvalitete potrebno ga je nadzirati, pratiti nove trendove, stjecati nova znanja programima cjeloživotnog obrazovanja u cilju uspješnog ophođenja sa novim izazovima (Jorgensen, 2007, Karleuša i drugi, 2009).

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Odgoj i obrazovanje za gospodarenje vodnim resursima, u institucijalnom i izvaninstitucijalnom sustavu, mora biti trajni proces koji podrazumijeva stjecanje potrebnih znanja, oblikovanje stavova i ponašanja, te pripremanje za odgovorno donošenje odluka, uz istovremeno razvijanje spremnosti svakog pojedinca za doprinos kroz osobno djelovanje. Svi izazovi koji se pojave i ciljevi koji se u vodnom gospodarstvu postave postaju lakše, brže, ekonomičnije i svrhovitije savladani ako su šira javnost, donosioci odluka i operativni stručni kadrovi temeljito informirani, dostatno obrazovani, te potaknuti na konstruktivno osobno djelovanje i doprinos - jer je po svemu sudeći, za postizanje globalnog koncepta održivog razvoja, a samim time i funkcioniranje modernog vodnog gospodarstva, nužan preduvjet promjena na nivou svijesti pojedinca!

5. LITERATURA

[1] Babones S.J. (2010): Trade globalization, economic development and the importance of education-as-knowledge, Journal of Sociology, 46,1,45-61.

[2] Capacity building for Ecological Sanitation (2006): Concepts for ecologically sustainable sanitation in formal and continuing education, UNESCO Working Series.

[3] Gudelj I., Gudelj H., Anić Vučinić A., Ujević M., Račić D. (2009): Razvoj i finan-

ciranje projekata vodoopskrbe, odvodnje i gospodarenja otpadom, Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Sveti Martin na Muri, Hrvatska, 17-22.

[4] Gudelj I., Gudelj H., Anić Vučinić A., Šiljeg M., Šoljan V., Ujević Bošnjak M. (2010): Etičnost i ekonomičnost u odnosu čovjeka i okoliša, Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Pula, Hrvatska, 279-284.

[5] Hahn H. (2007): Life long education – water specialists will not survive without, 4th Croatian Conference on Water, Opatija, Croatia, 47-57.

[6] Human Development Report (2010): The advance of people, United Nations Development Programme, New York.

[7] http://www.ceeindia.org/esf/papers.asp (dostupno 19.02.2011.)

[8] Jorgensen S.E. (2007): Ecological and integratet water management, Second International Conference on Waters in Protected Areas, Dubrovnik, (11-19).

[9] Karleuša B., Deluka Tibljaš A., Ožanić N., Ilić S. (2009): The role of higher education in developing awarness about water management, International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Ohrid, Macedonia, A17.

[10] Milković J., Tropan Lj. (2008): Potreba za obrazovanim osobljem u hidrologiji i meteorologiji, Hidrološka mjerenja i obrada podataka, Nacionalni park Plitvička jezera, Hrvatska, 415-423.

[11] Newig J., Pahl-Wostl C., Sigel K. (2005): The role of public participation in managing uncertainty in the implementation of the Water Framework Directive, European Environment, 15, 333-343.

AUTORI

dr. sc. Ivana Gudelj [a]
prof. dr. sc. Jasna Hrenović [b]
dr. sc. Lidija Runk Luttenberger [c]
doc. dr. sc. Ankica Senta Marić [d]
doc. dr. sc. Mario Šiljeg [e]
doc. dr. sc. Vice Šoljan [f]

[a] Hipalab d.o.o., Zagrebačka cesta 181, Zagreb, Hrvatska, e-mail: info@hipalab.hr

[b] Prirodoslovno – matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, Zagreb , Hrvatska

[c] Komunalac d.o.o., St. Lipovica 2, Opatija, Hrvatska

[d] Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Škola narodnog zdravlja „A. Štampar“,Odjel za vode, Rockefellerova 4, Zagreb, Hrvatska

[e] Vodotehnika d.d., Koturaška 49, Zagreb, Hrvatska

[f] Ekološki inženjering d.o.o., Ive Andrića 76, Poreč, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.02.

CJELOŽIVOTNO OBRAZOVANJE ZA POTREBE VODNOG GOSPODARSTVA

Josip Marušić

SAŽETAK: U radu su prikazani osnovni pokazatelji o značenju i potrebi cjeloživotnog obrazovanja za potrebe vodnog gospodarstva. Navedeni podaci su o programu povremenog stručnog obrazovanja do 2005. g., u organizaciji Društva građevinskih inženjera Zagreb, u suradnji sa stručnim društvima za: odvodnju i navodnjavanje, hidrologiju, vodoopskrbu, odvodnju otpadnih voda i konstrukcije. Za razdoblje od 2005. do 2010. g. dati su pokazatelji o temama stručnih tečaja iz područja vodnog gospodarstva po programu cjeloživotnog obrazovanja Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u suradnji s tvrtkom Hrvatske vode i Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje.

KLJUČNE RIJEČI: program, stručno, obrazovanje, značenje, vodno gospodarstvo, navodnjavanje, vodoopskrba, odvodnja, otpadne vode

LIFE-LONG LEARNING FOR THE NEEDS OF WATER MANAGEMENT

SUMMARY: The paper presents basic indicators of significance and requirements of life-long learning for the needs of water management. Presented data are extracted from the programme of temporary professional training up to 2005, organized by the Zagreb based Society of Civil Engineers in cooperation with other societies related to: drainage and irrigation, hydrology, water supply, waste-water treatment and structures. Professional courses themes in water management according to the programme of life-long learning at the Faculty of Civil Engineering in cooperation with Croatian Waters and Croatian Society for Drainage and Irrigation for 2005 to 2010 period were given.

KEY WORDS: programme, professional, training, significance, water management, irrigation, water supply, drainage, waste waters

1. UVOD

U vodnom gospodarstvu kao sastavnom dijelu građevinarstva postoji stalna potreba stručnog i znanstvenog usavršavanja u cilju uspješnijeg izvršavanja radnih zadataka. To se odnosi na obavljanje sljedećih poslova: planiranja i istraživanja, izrade studija i projekata, izgradnja novih i dogradnja (rekonstrukcija) postojećih te održavanje i upravljanje

u procesu korištenja svih vrsta vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava. *Ugradnja novih kao i tradicionalnih materijala te korištenje suvremenih strojeva i opreme primjenom novih tehnologija građenja i održavanja zahtjeva stalno stručno usavršavanje svih obrazovnih profila kadrova koji obavljaju raznovrsne poslove u vodnom gospodarstvu*.

Vodnogospodarske djelatnosti imaju osobito gospodarstveno, infrastrukturno i društveno značenje za razvitak svake države. Svestrana potreba i udjel vode gotovo u svim ljudskim djelatnostima uz istovremenu ograničenost vode po količini i kvaliteti također potvrđuju višenamjensko značenje vodno-gospodarskih djelatnosti. *Društveno-ekonomski odnosi u vodnom gospodarstvu planiraju se u trajnom procesu uzajamnog djelovanja i prilagođavanja svih čimbenika koji dolaze do izražaja u sklopu cjelokupnog razvitka svake države*. U razvijenim državama potvrđena je tehničko-tehnološka i društveno-ekonomska povezanost vodno-gospodarskih i velikog broja gospodarskih djelatnosti, a u prvom redu energetike, poljoprivrede, prometa, turizma, većine industrijskih djelatnosti te urbanog i komunalnog razvitka kao i ekologije, sporta i rekreacije.

2. BOLONJSKA DEKLARACIJA I CJELOŽIVOTNO OBRAZOVANJE

U cilju stvaranja učinkovitog i tržištu prilagođenog europskog visokoškolskog sustava te s potrebama harmonizacije studija i usporedivosti akademskih stupnjeva u Europi je krajem XX. Stoljeća pokrenut proces reforme visokoškolskog obrazovanja. Dana 19. lipnja 1999. g. ministri 29 europskih država potpisali su *Bolonjsku deklaraciju* koja ima sljedeće ciljeve:

- prihvaćanje sustava lako prepoznatljivih i usporednih akademskih i stručnih stupnjeva te uvođenjem dodatka diplomi (suplementa) za potrebe bržeg i lakšeg zapošljavanja, međunarodne konkurentnosti europskog sustava visokog obrazovanja;
- *prihvaćanje jedinstvenog sustava tri glavna ciklusa visokog obrazovanja: preddiplomski, diplomski i doktorski studij*;
- uvođenje sustava bodova kao sredstva za promicanje što veće pokretljivosti studenata;
- promicanje pokretljivosti uklanjanjem prepreka slobodnom kretanju za studente i nastavnike;
- promicanje europske suradnje u osiguranju i unapređivanju kvalitete obrazovnog procesa;
- promicanje potrebne europske dimenzije visokog obrazovanja – međuinstitucionalnu suradnju, planove mobilnosti i integrirane programe studija obuke i istraživanja.

Usklađivanje mjera i predviđenih ciljeva trajno prati Europska komisija odnosno Generalni direktorat za obrazovanje i kulturu. Izvješća obuhvaćaju analize struktura visokog obrazovanja, analize zakonodavstva i namjeravanih reformi te analize drugih aspekata vezanih za ciljeve *Bolonjskog procesa*. Na sastanku ministra obrazovanja održanom u Pragu 2001. godine i Hrvatska je potpisala *Priopćenje* s kojim se punopravno priključila *Bolonjskom procesu obrazovanja*, a u priopćenju kojeg su potpisale 32 države, novi ciljevi su: *uspostava strategije cjeloživotnog obrazovanja, sudjelovanje sveučilišta i drugih visokoobrazovnih ustanova te studenata u organizaciji i sadržaju studijskih programa, promicanje privlačnosti europskog prostora visokog obrazovanja*.

Hrvatski je sabor u srpnju 2003. godine izglasao novi *Zakon o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju* (ZZDVO) u čijim odredbama se predviđa usklađivanje hrvatskog vi-

sokog obrazovanja s navedenim ciljevima Bolonjskog procesa 1999. i Praškog priopćenja (2001.). Usklađivanje obuhvaća vrste, razine i trajanje studija, sustav ECTS bodova i akademske nazive. *U zaključcima Konferencije ministara znanosti europskih država održane u Pragu svibnja 2001. g., posebno se značenje daje cjeloživotnom učenju te se naglašava da je ono „esencijalni element prostora europskog visokoškolskog obrazovanja, na kojem se treba temeljiti konkurentnost, razvoj novih tehnologija, unapređenje društvene kohezije, te graditi društvo koje omogućava visoku kvalitetu života i jednake mogućnosti za sve"*. Potreba provedbe i stalnog aktualiziranja programa cjeloživotnog obrazovanja potvrđena je i na konferencijama ministara znanosti EU održanih u Berlinu 2003., Bergenu 2005. i Londonu 2007. godine.

U skladu s provedbom *Bolonjske deklaracije* osnovni pokazatelji o sveučilišnom studiju na hidrotehničkom smjeru Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu dati su u Zborniku radova 4. HKOV, na stranici 961-970. *Na Građevinskim fakultetima Sveučilišta u Zagrebu, Osijeku, Rijeci i Splitu obrazuju se hidrotehnički stručnjaci koji imaju vodeću ulogu u rješavanju zadataka i problema u području vodnog gospodarstva*. Sve veće potrebe održivog razvoja vodnogospodarskih djelatnosti zahtjeva i stalnu suradnju sa stručnjacima i znanstvenicima suradničkih djelatnosti – koje su važne za vodno gospodarstvo.

3. PROGRAMI STRUČNOG USAVRŠAVANJA ZA POTREBE VODNOG GOSPODARSTVA HRVATSKE do 2005. g.

Različiti programi povremenog i cjeloživotnog usavršavanja kadrova u vodnom gospodarstvu Hrvatske su održavani i prije 2005. godine. Za potrebe stručnog usavršavanja inženjera i diplomiranih inženjera građevinarstva u Hrvatskoj je vrlo aktivno bilo *Društvo građevinskih inženjera Zagreb* (DGIZ) koje dugi niz godina organizira stručne seminare u trajanju od dva do pet dana. Od 1970. do 1990. g. održavalo se od 6 do 10 stručnih seminara u siječnju, veljači i ožujku – a sudjelovalo je od 15 do 100 inženjera i diplomiranih inženjera građevinarstva, a u manjem broju i građevinski tehničari. *Društvo za odvodnju i navodnjavanje (DONH) u suradnji s DGIZ* je od 1983. do 1991. organiziralo 9 stručnih seminara s temama iz područja *hidrotehničkih melioracija i regulacije vodotoka. Sudjelovalo je od 28 do 102 polaznika i to u najvećoj mjeri inženjera i diplomiranih inženjera građevinarstva hidrotehničkog smjera, a dijelom i diplomirani inženjeri geodezije, kulturne tehnike i poljoprivrede*. Većina predavača su bili stručnjaci i znanstvenici Građevinskih fakulteta i SOUR Vodoprivrede Hrvatske, a manji broj iz vodoprivrednih poduzeća te projektnih tvrtki i Poljoprivrednih fakulteta. Od specijalističkih društava povremeno su stručne seminare održavali i *specijalistička društva iz područja vodoopskrbe i odvodnje otpadnih voda, hidrologije, konstrukcija, geotehnike*. Trajanje seminara je bilo od 16 do 40 sati, a polaznici su dobili autorizirana predavanja prezentiranih tema na stručnim seminarima.

Od 1991. do 2005. g. održavani su povremeno stručni seminari te stručno-znanstveni skuupovi iz područja vodnogospodarskih djelatnosti, konstrukcija, prometa, geotehnike, organizacije i tehnologije građenja. *Za stručno usavršavanje kadrova u vodnom gospodarstvu posebno značenje imaju Hrvatske konferencije o vodama (HKOV) koje su održane 1995., 1999. u Dubrovniku, 2003. u Osijeku i 2007. u Opatiji*. Sudjelovalo je od

280 do 420 stručnjaka i znanstvenika hidrotehnike, ali i niza suradničkih djelatnosti koji su izvršitelji poslova u procesu planiranja, projektiranja, građenja, izgradnje, održavanja i korištenja vodnih građevina i hidrotehničkih sustava. Sudionici HKOV su dobili zbornike radova, a 2007. i CD s prezentiranim radovima. U proteklom razdoblju održani su stručno-znanstveni skupovi u samostalnoj, ali i u zajedničkoj organizaciji *Hrvatskog društva za odvodnju i navodnjavanje i Hrvatskog hidrološkog društva* i to: 1993. – Zagreb, 1994. – Bizovačke Toplice, 1995. i 1998. – Zagreb i Hvar, 2002. – Slavonski Brod, 2003. – Rijeka. U izdavačkoj djelatnosti najaktivnije je bilo *Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje* koje je od 1983. do 1999. g. samostalno izdalo 13, a od 2003. do 2007. g. tri Priručnika za hidrotehničke melioracije, u suradnji s Hrvatskim hidrološkim društvom i Građevinskim fakultetom Sveučilišta u Rijeci.

Hrvatsko društvo za zaštitu voda je također aktivno u održavanju stručno-znanstvenih skupova s temama iz područja vodoopskrbe te pročišćavanja i odvodnje otpadnih voda kao i zaštite voda i okoliša. U sufinanciranju zbornika radova s navedenih stručno-znanstvenih skupova sudjelovala je i *JVP Hrvatska vodoprivreda do 2005. – tvrtka HRVATSKE VODE od 1996. g.*

4. PROGRAM CJELOŽIVOTNOG OBRAZOVANJA ZA POTREBE VODNOG GOSPODARSTVA NA GRAĐEVINSKOM FAKULTETU SVEUČILIŠTA U ZAGREBU OD 2005. DO 2010. GODINE

Program stručnog usavršavanja u graditeljstvu je od velikog značenja i za cjeloživotno obrazovanje u području vodnog gospodarstva. *Programi su određeni Pravilnikom o stručnim ispitima te upotpunjavaju i usavršavaju znanja osoba koje obavljaju poslove prostornog uređenja i graditeljstva, koji je donijet u lipnju 2005. g. Pravilnik obvezuje sve ovlaštene obveze uključene u procese projektiranja i građenja na pohađanje različitih oblika stručnog usavršavanja*. Po navedenom pravilniku relevantnim stručnim usavršavanjem u graditeljstvu smatra se i objavljivanje stručnih i znanstvenih publikacija, sudjelovanje na stručnim i stručno-znanstvenim skupovima te pohađanje petogodišnjeg programa stručnog usavršavanja. Svaki ovlašteni diplomirani inženjer građevinarstva obavezan je pohađati stručne tečajeve za koje je njihov organizator dobio dopusnicu od strane Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, u trajanju od najmanje sto sati tijekom pet godina – ili provoditi druge predviđene aktivnosti u istom ekvivalentu vremena. Ovlašteni organizatori programa cjeloživotnog obrazovanja u području građevinarstva su visokoškolske ustanove – *Građevinski fakulteti u Zagrebu, Osijeku, Rijeci i Splitu te Hrvatski savez građevinskih inženjera, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Institut građevinarstva Hrvatske, Elektrotehničko društvo Zagreb i Tehničko veleučilište u Zagrebu*.

Stručni tečajevi iz hidrotehničkih melioracija od 2005. do 2010. godine

U organizaciji *Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu* i *Hrvatskog društva za odvodnju i navodnjavanje* održana su četiri stručna tečaja s temama iz područja HIDROTEHNIČKIH MELIORACIJA, a osnovni pokazatelji su sljedeći:

A. 09. i 10. svibanj 2006. – NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH ZEMLJIŠTA (10 sati i 10 bodova)

1) Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV)
2) Postojeće stanje hidromelioracija u Hrvatskoj, Navodnjavanje u zakonu o vodama i Zakonu o financiranju vodnog gospodarstva, Navodnjavanje – zanemarena djelatnost u Hrvatskoj
3) Voda u poljoprivredi – potrebe, gospodarenje i zaštita voda i NAPNAV
4) Hidrološki parametri i metode definiranja vodne bilance
5) Stanje i perspektive navodnjavanja u Hrvatskoj
6) Sadržaj i cilj planova i projekata navodnjavanja
7) Plan navodnjavanja područja Međimurske županije
8) Navodnjavanje i okoliš – utjecaji i mjere zaštite

Polaznici stručnog tečaja su dobili autorizirana predavanja (324 stranice) i CD – prezentiranih radova. Sudjelovalo je 28 polaznika, od kojih su 17 djelatnici VGI, VGO i Direkcije HRVATSKIH VODA i trgovačkih društava u području vodnog gospodarstva, a 11 polaznika iz projektantskih tvrtki.

B. 29. i 30. listopad 2007. - HIDROTEHNIČKI SUSTAVI ZA ODVODNJU I NAVODNJAVANJE (10 sati, 10 bodova)

1) Izgradnja, obnova i održavanje hidrotehničkih građevina za zaštitu od površinskih i podzemnih voda – preduvjet navodnjavanja (23 stranice)
2) Stanje i perspektive melioracijskih mjera u Hrvatskoj (15 stranica)
3) Meteorološke i hidrološke podloge značajne za melioracijske mjere u Hrvatskoj (21 stranica)
4) Poljoprivredna tla Hrvatske i potreba za melioracijskim mjerama (18 stranica)
5) Voda u poljoprivredi – potrebe gospodarenja i zaštita (18 stranica)
6) Navodnjavanje, zaštita voda i tla u održivoj poljoprivredi Istočne Hrvatske – istraživačko-znanstveni projekt (41 stranica)
7) Idejni projekt navodnjavanja „Kapinci – Vaška“ – pilot projekt Virovitičko-podravske županije (62 stranice)
8) Provedba Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja, poljoprivrednim zemljištem i vodama – osnovni pokazatelji o planovima, projektima i izgradnji (21 stranica)
9) Obveze investitora i korisnika Sustava za navodnjavanje (38 stranica)
10) Utjecaj hidromelioracijskog sustava navodnjavanja na okoliš (18 stranica)

Na stručnom tečaju 102 polaznika, od kojih je 63 djelatnika VGI, VGO i Direkcije HRVATSKIH VODA i trgovačkih društava VODOPRIVREDA i VODOGRADNJA, s 50 i više godina rada i djelatnosti u vodnom gospodarstvu Hrvatske. 39 polaznika su djelatnici iz projektantskih i ostalih tvrtki koje sudjeluju u procesu ostvarenja vodnogospodarskih projekata te izgradnji i održavanju vodnih građevina i sustava.

C. 29. i 30. listopad 2008. – HIDROTEHNIČKI SUSTAVI ZA NAVODNJAVANJE (10 sati, 10 bodova)

1) Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u RH i njegova provedba 2005.-2008. g. (30 stranica)
2) Vodni potencijal RH i mogućnost njegovog korištenja za navodnjavanje (37 str.)
3) Zemljišni resursi RH i njihova pogodnost za navodnjavanje (95 str.)
4) Doziranje i gospodarenje vodom na navodnjavanim površinama (53 str.)
5) Sustavi navodnjavanja primjenjivi na poljoprivrednim površinama u RH (60 str.)
6) Utjecaj sustava za navodnjavanje na vodne resurse (24 str.)
7) Koristi i problemi sustava na navodnjavanim površinama (56 str.)
8) Izrada projektne dokumentacije sustava za navodnjavanje (21 str.)
9) Obveze i nadležnosti sudionika i korisnika sustava za navodnjavanje (38 str.)
10) Osnovni pokazatelji o načinu uređenja, korištenja i upravljanja sustavima za navodnjavanje u dijelu država EU (48 str.)
11) Zaključci znanstvenog skupa „Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora“ s težištem na NAPNAV (16 str.) – u organizaciji HAZU, u suradnji s Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje (siječanj 2007.)

Na stručnom tečaju sudjelovalo 76 polaznika, od kojih su 54 djelatnici VGI, VGO i Direkcije HRVATSKIH VODA i trgovačkih društava VODOPRIVREDA – VODOGRADNJA, s 50 i više godina rada u vodnom gospodarstvu Hrvatske, a 22 djelatnika iz projektantskih i ostalih tvrtki.

D. 12. veljače 2009. – GOSPODARENJE VODAMA U HRVATSKOJ (10 sati, 10 bodova)

Simpozij s međunarodnim sudjelovanjem održan u zajedničkoj organizaciji: Hrvatske akademije tehničkih znanosti, Građevinskog fakulteta Zagreb, Hrvatskih voda, MRRŠVG, MZOŠ i Hrvatskog društva za odvodnju i navodnjavanje. *U šest tematskih skupina prikazano je 24 rada, od kojih su dva pozivna predavanja, a 4 iz područja hidrotehničkih melioracija*.

1) Strategija upravljanja vodama u Hrvatskoj
2) Hidraulični aspekti međunarodne suradnje na projektu revitalizacije rijeka
3) Voda i proizvodnja hrane

3.1) Voda u poljoprivredi – prirodni raspored, potrebe, gospodarenje i zaštita voda

3.2) Stanje i mogućnosti razvoja hidromelioracijskih sustava odvodnje u Hrvatskoj

3.3) Županijski planovi navodnjavanja – temeljni dokumenti realizacije Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV)

3.4) Određivanje optimalne veličine izgradnje akumulacije vode za navodnjavanje

4) Voda i proizvodnja energije

4.1) Hidroelektrana Gabčiko – tehnički i ekološki problemi

4.2) Mogućnost korištenja preostalog vodnog potencijala u Hrvatskoj

4.3) Male hidroelektrane i korištenje vodnog potencijala u Hrvatskoj

4.4) Geotermalna voda kao energetska mineralna sirovina

4.5) Mogući utjecaji provedbe Okvirne direktive o vodama

4.6) Nove spoznaje o rušenju nasutih brana

5) Voda – hrvatski izvozni proizvod

6) Unutarnji plovni putovi i luke u Hrvatskoj

6.1) Vodnogospodarsko i prometno značenje Višenamjenskog kanala Dunav-Sava

6.2) Razvoj riječnih luka u Republici Hrvatskoj

6.3) Stanje i budućnost hrvatske unutrašnje plovidbe

7) Vodoopskrba naselja u Hrvatskoj

7.1) Sustavi javne vodoopskrbe u Hrvatskoj

7.2) Vodoopskrbni sustav Istočne Hrvatske

7.3) Kritička analiza učinkovitosti investicija u izgradnji sustava vodoopskrbe i odvodnje

8) Zaštita voda u Republici Hrvatskoj

8.1) Zaštita podzemnih voda za javnu vodoopskrbu u Hrvatskoj

8.2) Novi pristup zaštiti podzemnih voda u Hrvatskoj prema zahtjevima europskih direktiva i smjernica

8.3) Promjena kakvoće vode rijeke Save kao rezultat izgradnje centralnog uređenja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba

8.4) Gospodarenje vodama u zaštićenim područjima

8.5) Uspostava modela ekološkog stanja Jadranskog mora

Sudjelovalo 168 polaznika iz 28 tvrtki i institucija. Autori pisanih materijala (s tabličnim podacima i grafičkim pokazateljima), a predavači na stručnim tečajevima i stručno-znanstvenim skupovima su stručnjaci i znanstvenici sljedećih institucija i tvrtki: Građevinski fakultet i Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, Hrvatske vode, Hidroing d.o.o. Osijek, Hidroprojekt d.d. Zagreb, Elektroprojekt d.d. Zagreb, Građevinski fakultet Sveučilišta u Osijeku, Poljoprivredni institut Osijek, Institut za elektroprivredu i energetiku, HEP – Sektor za strategiju, planiranje i razvoj, INA-Naftaplin – istraživanje i proizvodnju, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatska akademija tehničkih znanosti.

Stručni tečaji iz sanitarne hidrotehnike od 2008. do 2010. godine

U organizaciji Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i tvrtke HRVATSKE VODE održana su četiri stručna tečaja s temama iz područja SANITARNE HIDROTEHNIKE, a osnovni pokazatelji su sljedeći:

A. 13. i 14. lipanj 2008. g. (16 sati i 16 bodova)

1) Odvodnja prometnica – zaštita od negativnog djelovanja
2) Problemi odvodnje, pročišćavanja i dispozicije otpadnih voda u ruralnim naseljima u Hrvatskoj
3) Modeliranje kakvoće vode u vodotocima
4) Primjena membranskih tehnologija kod pripreme vode za piće i pročišćavanja otpadnih voda
5) Problemi u praksi pri izvođenju sustava vodoopskrbe i odvodnje
6) Primjena plastičnih okana u odvodnji i obradi otpadnih voda
7) Instrumenti upravljanja okolišem
8) Modeli realizacije projekata iz područja komunalne hidrotehnike s naglaskom na Javno Privatno Partnerstvo (JPP)
9) Usporedba odredbi EU vodnog acquisa sa vodnogospodarskom praksom u Republici Hrvatskoj – Sustav javne odvodnje
10) Mješoviti i razdjelni načini odvodnje – osnovni aspekti izgradnje i održavanja u urbanim sredinama

Na stručnom tečaju je sudjelovalo 110 polaznika.

B. 09. i 10. lipnja 2009. (14 sati, 12 bodova, a od toga 2 boda iz regulative)

1) Analiza ulaznih podataka za projekte vodoopskrbe i odvodnje
2) Matematičko modeliranje sustava vodoopskrbe i odvodnje
3) Statički proračun kanalizacijskih cijevi
4) Zakonska regulativa u području zaštite prirode
5) Zakonske podloge upravljanja vodnim gospodarstvom – Strategija upravljanja vodama
6) Bežična mreža osjetila u procesu monitoringa vodnih sustava
7) Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Koprivnice – dosadašnja iskustva u pogonu, održavanju i vođenju uređaja
8) Kontrola gubitaka vode u vodoopskrbnim sustavima: metode, tehnologije i iskustva
9) Ponovna uporaba pročišćene vode – obnova vode

Na stručnom tečaju sudjelovala 202 polaznika.

C. 23. i 24. lipnja 2010. (14 sati, 14 bodova, a od toga 2 boda iz regulative)

1) Imaju li mali vodovodi šansu
2) Računarska podrška pri odabiru optimalnih sustava odvodnje u ruralnim naselji ma
3) Praktični aspekti kanalizacijskih crpnih stanica

4) Zakonske osnove procjene utjecaja zahvata na okoliš za područje sanitarne hidrotehnike
5) Pokazatelji učinkovitosti i benchmarking u vodoopskrbi i odvodnji
6) Membranske tehnologije pročišćavanja otpadnih voda u Hrvatskoj
7) Konačno odlaganje mulja s uređaja za pročišćavanje

Na stručnom tečaju sudjelovala 153 polaznika

D. 09. i 10. rujan 2010. - TEHNIČKA REGULATIVA U SANITARNOJ HIDROTEHNICI (8 sati, 8 bodova iz regulative)

1) Zakonska regulativa vodoopskrbe
2) Zakonske podloge u području pročišćavanja otpadnih voda
3) Tehnička regulativa vezana uz hidrantsku mrežu zaštite od požara
4) Zakonska regulativa vezana uz postupak procjene utjecaja na okoliš za sustave vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda
5) Ocjenjivanje sukladnosti građevnih proizvoda
6) Hrvatske norme iz područja sanitarne hidrotehnike

Na stručnim tečajima sudjelovali djelatnici tvrtki u području komunalnog i vodnog gospodarstva i projektanti te proizvođači strojeva i opreme za vodne građevine i sustave vodoopskrbe i odvodnje. Autori pisanih radova s tabličnim podacima i grafičkim pokazateljima su bili stručnjaci i znanstvenici sljedećih institucija i tvrtki: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske vode, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, FER i FSB Sveučilišta u Zagrebu, Institut građevinarstva Hrvatske, Komunalac d.o.o. Koprivnica, IMGD Samobor i Almes-eko d.o.o. Rijeka.

Na osam stručnih tečajeva (94 sata predavanja, 94 boda) sudjelovalo je 864 polaznika koji u svojim tvrtkama obavljaju raznovrsne poslove na ostvarenju projekata vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava.

Specijalistički studij od akad. god. 2006./07.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, sukladno *Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju i Bolonjskom procesu*, je u akademskoj godini započeo s provedbom programa poslijediplomskog doktorskog (7 usmjerenja) i specijalističkog studija (6 usmjerenja) – u 2006./07. Na hidrotehničkom usmjerenju prva generacija studenata je upisana u akad. god. 2008./09. Studenti su dužni upisati predmete s 30 ECTS bodova, a izradom specijalističke radnje također ostvaruju 30 ECTS bodova. Studenti su dužni završiti specijalistički studij u roku od tri godine.

ZAKLJUČAK

Za uspješan razvoj svake djelatnosti od primarnog značenja je kako redovno tako i cjeloživotno obrazovanje potrebnih stručnjaka i znanstvenika. U vodnom gospodarstvu kao sastavnom dijelu građevinarstva i prije 2005. godine organizirani su povremeni stručni seminari kao i skupovi u cilju stručnog usavršavanja za potrebe uspješnijeg

rješavanja raznovrsnih zadataka u procesu planiranja, projektiranja, građenja i održavanja te upravljanja vodnim građevinama i vodnogospodarskim sustavima. *Potreba provedbe i stalnog aktualiziranja programa cjeloživotnog obrazovanja potvrđena je na konferencijama ministara znanosti EU, održanih 2001., 2003. i 2005. godine – kao sastavnog dijela provedbe Bolonjske deklaracije kojom je prihvaćen jedinstveni sustav tri glavne razine visokog obrazovanja: preddiplomski, diplomski i doktorski studij* (1999. i 2001. g.).

Na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu od 2005. godine provodi se program cjeloživotnog obrazovanja odnosno stručnog usavršavanja po profilima studijskih programa: geotehnika, hidrotehnika, konstrukcije, materijali, organizacija i tehnologija građenja, prometnice i teorija, materijali i modeliranje konstrukcija. *Ovlašteni diplomirani inženjer građevinarstva obavezan je pohađati stručne tečajeve u trajanju od najmanje sto sati tijekom pet godina – ili provoditi druge edukativne aktivnosti u istom vremenskom trajanju – po odluci MZOPUG Hrvatske*.

Od 2005. do 2010. godine održano je osam stručnih tečaja hidrotehničkih melioracija, sanitarne hidrotehnike, vodnogospodarskih djelatnosti, u trajanju 94 sati (94 boda), od čega 12 iz regulative. Ukupno je sudjelovalo 864 polaznika stručnih tečaja koji su dobili 1.426 stranica autoriziranih predavanja CD – prezentacije, ukupno 84 tema odnosno radova. *Najviše tema je bilo iz sanitarne odnosno zdravstvene hidrotehnike, hidrotehničkih melioracija i gospodarenja vodama*. Predavači na stručnim tečajevima su bili djelatnici Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, tvrtke Hrvatske vode, projektantske tvrtke, Agronomskog fakulteta Zagreb, Instituta građevinarstva Hrvatske i Ministarstva regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva te institucije i tvrtke koje sudjeluju u procesu ostvarenja projekata i zadataka u području vodnog gospodarstva Hrvatske (navedeno 4.1 i 4.2). *Održana predavanja (s pisanim radovima) i broj polaznika potvrdila su opravdanost i ostvarila ciljeve programa cjeloživotnog obrazovanja za potrebe uspješnijeg rješavanja zadataka u području vodnog gospodarstva Hrvatske kao preduvjeta cjelokupnog gospodarskog i infrastrukturnog razvoja Hrvatske*.

LITERATURA

[1] Szavits-Nossan, A. (2006.): Bolonjska deklaracija i novi studiji građevinarstva; Građevinar 58, 5, Zagreb, 357-366.

[2] Marušić, J. (2007.): Sveučilišni studiji na hidrotehničkom smjeru Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu; 4. Hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem „Hrvatske vode i Europska unija – izazovi i mogućnosti“, Zbornik radova (Gereš, D.), Hrvatske vode, Zagreb, 961-970.

[3] Pravilnik o stručnom ispitu te upotpunjavanju i usavršavanju znanja osoba koje obavljaju poslove prostornog uređenja i graditeljstva (2008.); NN 24/08.

[4] Horvatić, S., Karakaš, Z. (2008.): Obrazovanje i osposobljavanje kadrova u graditeljstvu; Sabor hrvatskih graditelja 2008., Hrvatsko graditeljstvo pred izazovom europskih integracija, HSGI, Zagreb – Cavtat, 461-470.

[5] Završki, I., Sertić, J. (2008.): Stručno usavršavanje u graditeljstvu – hrvatska iskustva i europski okvir; Sabor hrvatskih graditelja 2008., Hrvatsko graditeljstvo pred izazovom europskih integracija, HSGI, Zagreb – Cavtat, 490-496.

[6] Strategija upravljanja vodama (2009.), Hrvatske vode, Zagreb, 1-165.

[7] Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (2005.-2010.): Programi stručnog usavršavanja za potrebe vodnog gospodarstva; Osnovni pokazatelji o održanim stručnim tečajevima od 2005. do 2010.g., Voditelji stručnih tečaja: Malus, D., Marušić, J., Gjetvaj, G., Vouk, D.

Zagreb, 31. ožujak 2011.

AUTOR

prof. dr. sc. Josip Marušić, dipl. ing. građ. [a]

[a] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, marusicj@grad.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.03.

ULOGA EKSPERIMENTALNE HIDRAULIKE NA HIDROTEHNIČKOM USMJERENJU GRAĐEVINSKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U RIJECI

Vanja Travaš, Nevenka Ožanić, Barbara Karleuša

SAŽETAK: Svaki hidrotehnički zahvat nezaobilazno uzrokuje mehaničku interakciju vode i inženjerske konstrukcije. U procesu iznalaženja adekvatnih inženjerskih rješenja koja zadovoljavaju postavljene projektne zadatke, neizbježna je izrada hidrodinamičkog modela promatranog fizikalnog procesa u svrhu prognoziranja mogućih posljedica izazvanih inženjerskom intervencijom. Naime, jedino odgovarajuća kombinacija subjektivnog inženjerskog suda prema prognozama dobivenim procesom modeliranja može dovesti do prihvatljivih rješenja. Iz tog razloga, kolegiji na hidrotehničkom usmjerenju diplomskog sveučilišnog studija Građevinarstvo Građevinskog fakulteta u Rijeci u sklopu nastavnog plana obrađuju kao prvo analitičke modele hidrodinamičkih procesa koji se koriste za izradu važnih kvalitativnih hidrotehničkih ekspertiza. U sklopu kolegija Hidraulika studentima se prenose znanja vezana za numeričko modeliranje hidrodinamičkih procesa. Međutim primjena numeričkih modela hidrodinamičkih procesa, pogotovo danas kada na tržištu postoji niz komercijalnih programskih paketa koji nude raznovrsne mogućnosti analize i svojim atraktivnih prezentiranjem rezultata mogu zavarati projektanta i dovesti do krivih zaključaka, treba biti popraćena kritičkim osvrtom. Kroz kolegij Eksperimentalna hidraulika (koji mogu upisati nakon Hidraulike) studenti imaju mogućnost usvojiti elemente inženjerskog sagledavanja, zaključivanja i rješavanja zadataka iz odabranih tema eksperimentalne hidraulike i razviti subjektivni stav prema rezultatima dobivenim procesom matematičkog modeliranja. Ostvarenje navedenih ciljeva moguće je ostvariti kroz laboratorijski rad studenata hidrotehničkog usmjerenja koji će biti omogućen preseljenjem Fakulteta u novu zgradu u sklopu Sveučilišnog Kampusa na Trsatu i realizacijom hidrotehničkog nastavnog, ali i istraživačkog laboratorija.

KLJUČNE RIJEČI: eksperimentalna, hidraulika, hidrotehnički laboratorij, nastava, građevinski fakultet

THE ROLE OF EXPERIMENTAL HYDRAULICS IN TEACHING ACTIVITIES AT THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING - UNIVERSITY OF RJEKA

ABSTRACT: In the field of hydraulic engineering, each engineering system inevitably includes the mechanical interaction between the water and the present construction. In the process of finding adequate solutions that satisfy a pre-defined set of tasks, it is necessary to develop a hydrodynamic model to quantify consequences caused by the engineering intervention in the observed engineering system. In fact, only an appropriate subjective engineering judgment, of the results obtained through the process of modeling, can lead to acceptable solutions. For this reason, at the Faculty of civil engineering in Rijeka, and within the course of Hydraulics, the graduate students have the obligation to learn the basis of analytic and numerical modeling of selected hydrodynamic events. However, especially today when there are many commercial software packages that offer a variety of capabilities and attractive presentation of the field associated to fluid flow, it is difficult to preserve the critical engineering judgment. To evidence some typical misleading, it would be convenient to introduce an experimental point of view during the academic learning process. For this reason, through the course of Experimental hydraulics, students have the opportunity to adopt elements of engineering understanding, reasoning and problem solving in selected topics of experimental hydraulics, introducing the possibility to compare the previously developed numerical prediction of the process now observed in the laboratory. The process of comparing the calculated and measured data will undoubtedly increase the level of caution during decision of acceptation or rejection of some numerical predictions obtained through commercial software packages. Apart student activities, it is also expected that the laboratory equipment will offer an environment to perform advance scientific research in the fields covered by engineering fluid dynamics. The graduate and post-graduate student's activities will start immediately after a transfer to the new building will be concluded (a building of the Faculty within the University Campus).

KEY WORDS: experimental hydraulics, laboratory, teaching, civil engineering

1. UVOD

Rješavanje projektnih zadatka iz inženjerskog područja hidrotehnike, gotovo uvijek iziskuje provedbu stohastičkih analiza *hidrologije* ili determinističke analize *hidraulike*. Projektno rješenje se najčešće nalazi putem suradnje tih dviju temeljnih područja *hidrotehnike*. Iz tog razloga, u okviru nastavnih programa gotovo svih građevinskih fakulteta u Republici Hrvatskog (pa tako i drugdje), predviđeni su istoimeni kolegiji koji u većoj ili manjoj mjeri prate danas već tradicionalni sadržaj predmetnih izvedbenih programa Na razini preddiplomskog studija studenti stječu osnovna znanja iz *hidrologije* i *hidromehanike*, koja na hidrotehničkom usmjerenju diplomskog sveučilišnog studija Građevinarstvo Građevinskog fakulteta u Rijeci nadograđuju kroz obavezni kolegij *Hidraulika*, te izborne kolegije *Eksperimentalna hidraulika* i *Modeliranje u hidrotehnici* (Građevinski fakultet u Rijeci, 2010). Fokusirajući se na nastavu *Hidraulike*, koja je izravno vezana za nastavu *Eksperimentalne hidraulike*, treba istaknuti da je obzirom na istoimenu znanstvenu-inženjersku disciplinu, nemoguće cjelovito obuhvatiti sva postojeća znanja iz tog

područja. Naime, predviđeni nastavni program ne treba shvatiti kao zatvorenu cjelinu već kao sistematizaciju odabranih poglavlja *hidraulike* i to prvenstveno onih za koje postoji veća vjerojatnost da će studentima biti neophodni u njihovom budućem stručnom radu. Pojedine od obuhvaćenih cjelina sadrže zatvoreni skup znanja koja su dostatna za rješavanje konvencionalnih inženjerskih zadaća. Većina gradiva ima za ulogu prikazati osnove rješavanja uobičajenih hidrauličkih problematika, karakterističnih za naše podneblje, te na taj način stvoriti radnu podlogu za nadograđivanje stečenih znanja i savladavanje gradiva ostalih hidrotehničkih kolegija predviđenim nastavnim programom. Nakon obaveznog kolegija *Hidraulika* kojeg studenti hidrotehničkog usmjerenja biraju u 1. semestru diplomskog sveučilišnog studija, kroz izborni kolegij *Eksperimentalna hidraulika* koji je moguće upisati u narednom semestru (2. semestar diplomskog studija), putem laboratorijskog rada studentima se nudi eksperimentalni uvid u odabrane hidrodinamičke procese, koji su prethodno, u okviru *Hidraulike*, promatrani iz teorijske perspektive. Obzirom na dobro poznati kronološki odnos eksperiment-teorija, ovakav prividno nelogičan nastavak studija osigurava stjecanje puno „jačeg" znanja iz područja *hidraulike* te u dobroj mjeri osigurava razvoj inženjerske intuicije - uvijek neophodne za rad u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

Slika 1. Sveučilišni kampus na Trsatu u Rijeci (listopad 2010.)

Slika 2. Nova zgrada Građevinskog fakulteta u Rijeci (listopad 2010.)

U ak. god. 2010./11. na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci kolegij Eksperimentalna hidraulika se izvodi po prvi put stoga se u ovome radu izlaže koncept kolegija, te njegova uloga u savladavanju gradiva ostalih kolegija hidrotehničkog usmjerenja. Osnovu za kvalitetnu izvedbu nastave ovog predmeta čini svakako dobro opremljen hidrotehnički laboratorij. Preseljenjem u novu zgradu Građevinskog fakulteta u sklopu Sveučilišnog Kampusa, studentima hidrotehničkog usmjerenja na raspolaganju će biti i hidrotehnički laboratorij, čije je opremanje upravo u fazi realizacije (slike 1 i 2).

Treba istaknuti da uloga hidrotehničkog laboratorija prelazi granice nastavnih aktivnosti, te će laboratorij nedvojbeno doprinijeti razvoju znanstveno-istraživačkog rada na Fakultetu pa i šire.

U svjetlu činjenice da je Sveučilište u Rijeci u fazi dobivanja sredstava preko IPA projekta - Research Infrastructure for Campus-based laboratories at University of Rijeka i sredstava strukturnih fondova, mogućnost kvalitetnog opremanja laboratorija i rada u njima je izvjesna. Vrijednost projekta je gotovo 8,8 milijuna eura u prvoj fazi (IPA), te oko 10 milijuna eura u 2. Fazi (strukturni fond). Radi se o opremanju laboratorija

Građevinskog fakulteta (5 laboratorija među kojima i hidrotehnički), laboratorija u Odjelu za biotehnologiju, Centru za mikro i nano znanosti i tehnologije, te Centru za napredno računanje i modeliranje. Isto tako na 43. sjednici Vlade Republike Hrvatske od 25.02.2010. donesena je odluka o sklapanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Japana vezano za Projekt Identifikacije rizika i planiranja korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj - Risk identification and land-use planning for disaster mitigation of landslides and floods in Croatia. Naime, u okviru međunarodnog natječaja Vlade Japana za bilateralne znanstveno-istraživačke projekte, unutar programa Suradnja u području znanosti i tehnologije o globalnim pitanjima, po prvi je puta prijavljen jedan hrvatsko-japanski projekt, koji je u konkurenciji od 142 projektna prijedloga iz cijeloga svijeta odabran među 10 projekata koje će Vlada Japana financirati unutar spomenutog programa i to u iznosu od 4 milijuna eura Projekt će trajati pet godina, a njegovi su nositelji u Hrvatskoj sveučilišta u Splitu, Rijeci i Zagrebu, te Hrvatski geološki institut, a biti će uključeni i stručnjaci iz Hrvatskih voda. Partnerske su institucije s japanske strane sveučilišta Niigata i Kyoto te International Consortium on Landslides (Bonacci i drugi, 2010). Kao nadležne ustanove provedbu projekta podržavat će i pratiti Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa i Japanska agencija za međunarodnu suradnju. Japanska se pomoć odnosi na osiguravanje opreme, ekspertize i usavršavanja hrvatskih znanstvenika, pa se i na taj način otvaraju brojne mogućnosti Građevinskom fakultetu u Rijeci za napredak u znanstvenom istraživanju, ali i unaprjeđenju nastave u području hidrotehnike.

2. NASTAVNI PROGRAM I ISHODI UČENJA PREDMETA EKSPERIMENTALNA HIDRAULIKA

Sadržaj predmeta *Eksperimentalna hidraulika* kroz oblik predavanja i vježbi (auditornih i laboratorijskih) obuhvaća teme od eksperimentalne mehanike, kriterija sličnosti, mjernih tehnika, teorije grešaka, hidrometrije i ispitivanja do korelacijskih analiza. Predloženi program uključuje gradiva namijenjena za provedbu faza *pred-istraživačkih*, *istraživačkih* i *post-istraživačkih radnji*. Naime, prvih nekoliko nastavnih tema pripremaju studente na izradu eksperimentalne dokumentacije, te kroz popratni nastavni blok vježbi, studenti razvijaju intuiciju neophodnu za laboratorijsku identifikaciju varijabli od interesa i varijabli podložnih eksperimentalnom manipuliranju. Imajući definirane i izolirane varijable od interesa, u fazi *istraživanja* provode se mjerenja i prikupljanje podataka. Putem laboratorijske opreme na Građevinskom fakultetu u Rijeci, ova faza uključuje i aktivno sudjelovanje studenata u provedbi mjerenja raznih polja fizikalnih veličina. U konačnici, završni nastavni blok je posvećen post-istraživačkom radu te obrađuje odabrane metode za provedbu korelacijskih analiza izmjerenih i prethodno proračunatih fizikalnih veličina. Isto tako, studentima nudi mogućnost subjektivnog osvrta i kritike na dobivene rezultate. Dragocjenost subjektivnog doživljaja eksperimenta očituje se kroz posljedičnu stimulacija akademskih diskusija, koje nedvojbeno pospješuju porast individualnih stečenih znanja.

Savladavanjem kolegija *Eksperimentalna hidraulika* studenti će ostvariti sljedeće ishode učenja, odnosno bit će sposobni:

- koristiti određenu laboratorijsku opremu

- skalirati jednostavnu građevinu na laboratorijsko mjerilo
- identificirati i analizirati bezdimenzionalne Π-grupe
- koristiti AD/DA konvertor i kondicionirati prikupljene signale
- odrediti greške u provedenim mjerenjima
- mjeriti skalarna, vektorska i tenzorska polja u uobičajenim hidrodinamičkim procesima
- izraditi eksperimentalnu dokumentaciju i hodograme ispitivanja za hidrodinamičke i aerodinamičke procese prisutne u graditeljskoj praksi
- provesti korelacijske analize eksperiment-teorija
- provesti odabrana *in-situ mjerenja* u pomorskim, nadzemnim i podzemnim tokovima.

3. VEZA S OSTALIM HIDROTEHNIČKIM PREDMETIMA NA PREDDIPLOMSKOM, DIPLOMSKOM I POSLIJEDIPLOMSKOM SVEUČILIŠNOM STUDIJU

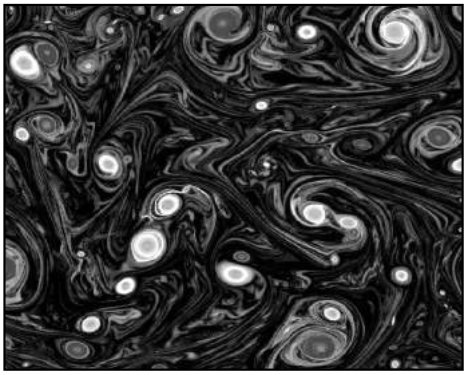
Za ovladavanje gradiva iz *Eksperimentalne hidraulike* usvojena je radna pretpostavka usvojenog gradiva iz kolegija *Hidromehanika*, koji se na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci predaje na preddiplomskom studiju, te sva temeljna znanja iz klasične mehanike (obuhvaćeno u nekolicini prethodnih kolegija), kao i matematički aparat diferencijalnog i integralnog računa. Podrazumijeva se da je i neophodno vladati gradivom izloženim na predavanjima iz kolegija *Hidraulika*.

S obzirom da se, u okviru gradiva eksperimentalne hidrodinamike, obrađuju teme strujanja pod tlakom, pomorskih tokova, nadzemnih tokova i podzemnih tokova, izloženo gradivo ima izravne poveznice sa većinom ostalih predmeta koji se predaju u istom, ali i narednim semestrima (Građevinski fakultet u Rijeci, 2010). Vizualizacija i analiza strujanja fluida u takvim okruženjima će nedvojbeno pomoći pri usvajanja nadolazećih kolegija. Naime, u svrhu dimenzioniranja obalnih građevina u sklopu kolegija *Inženjerstvo obalnih građevina* iziskuje se razumijevanje mehanike gibanja morskih valova. Nadalje, kolegij *Regulacije i melioracije* nameće potrebu za robusnim znanjem iz poglavlja mehanike gibanja vode u otvorenim tokovima. Spomenute teme se obrađuju teorijski u okviru kolegija *Hidraulika* te eksperimentalno u hidrotehničkom laboratoriju. Kolegiji *Hidrotehničke građevine*, između ostalog, tretira i problematiku temeljenja brana, gdje mehanika gibanja podzemne vode ima gotovo presudan značaj za sigurnu eksploatacije građevine. Isto kao ranije, i ova tema je posebno zastupljena u okviru laboratorijske nastave. Kolegiji *Vodoopskrba i kondicioniranje voda* i *Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda* zahtjevaju znanja vezana za stacionarna i nestacionarna strujanja u tlačnim sustavima i sustavima sa slobodnim vodnim licem. Kroz prezentaciju *Reynoldsovog eksperimenta*, izvoda *Darcy-Weisbachove jednadžbe*, *Buckinghamov Π-teorema*, laboratorijski uvid u propagaciju hidrauličkog udara, studentima se putem laboratorijskog rada nudi ne samo kvantifikacija tlaka i brzina već i vizualizacija spomenutih hidrodinamičkih procesa i principa. Naime, ovakva metodologija i nadopunjavanje stečenog znanja nedvojbeno pospješuje razumijevanje gradiva što je još davno ustanovio Galilei koji je rekao: „*Ako radiš sa vodom prvo promatraj pa tek onda razmišljaj*“.

S obzirom da je *Eksperimentalna hidraulika* izborni kolegij sigurno će potaknuti zainteresiranost prema vizualizaciji hidrodinamičkim procesima. Naime, strujna polja fluida su još odavno privlačila pažnju ne samo znanstvenika već i znatiželjnih individua, te se u

prilog tome prilaže i komparacija *Van Goghove* slike „*Zvjezdano nebo*“ (slika 3) i snimka turbulentnog miješanja fluida (slika 4), koja zasigurno budi maštu i znatiželju većeg broja promatrača.

Slika 3. Van Gogh (1889): „Zvjezdano nebo“



Slika 4. Eksperimentalni snimka turbulentnog miješanja fluida

Treba još napomenuti da se Eksperimentalna hidraulika neizravno nadovezuje i na kolegije koje tretiraju problematiku numeričkog modeliranja fluida. Naime, analitički modeli pretežito donose rješenja pojednostavljenih jednodimenzionalnih strujanja fluida. Iz tog razloga, trodimenzionalna rješenja dobivena numeričkim integriranjem vladajućih jednadžbi nije moguće ocijeniti teoretskim putem. Jedino moguće je testirati izrađene numeričke modele replicirajući proračunato u laboratorijskim kontroliranim uvjetima. Podudaranje izračunatog i izmjerenog osigurava ispravnost numeričkog modela. Osim navedenog, obzirom da se numerički modeli često temelje na nekolicini kalibracijskih parametra, jedino putem eksperimentalnih istraživanja je moguće ustanoviti njihovu veličinu. Sve ovdje rečeno ide u prilog mogućnostima da studenti svoje prethodno izrađene modele verificiraju te uz pomoć laboratorijske opreme po potrebi i kalibriraju.

Osim uvida u odabrane hidrodinamičke procese, predloženim nastavnim programom će se studentima omogućiti i uvid u svakodnevni laboratorijski rad te omogućiti razvoj kritičnog razmišljanja pri obradi izmjerenih veličina. Naime, slično kao i u slučaju numeričkog modeliranja, i eksperimentalna metodologija je podložnom prividnim naizgled dobrim rezultatima koje se slažu sa očekivanim ishodima. Ta podudarnost izmjerenog (ili izračunatog) sa očekivanim veličinama je u današnje vrijeme možda najveća zamka s kojom se susreću inženjeri u praktičnom radu. Može se reći da količina i magnituda pogreške koje nastaju prilikom provedbe eksperimenata su obrnuto proporcionalne iskustvu eksperimentalnog istraživača. U prilog rečenom prilaže se izreka poznatog fizičara Niels Bohrna: “Ekspert je čovjek koji je učinio sve moguće pogreške u uskom polju njegovog svakodnevnog djelovanja“. Za minimiziranje pogrešaka je neophodan laboratorijski rad koji prelazi vremenske okvire jednog semestra. Iako, kroz mogućnost provedbe laboratorijskih mjerenja radi izrade diplomskih radova, studenti će moći koristiti ugodnije radno okruženje te posljedično minimizirati pogreške u eksperimentalnom radu.

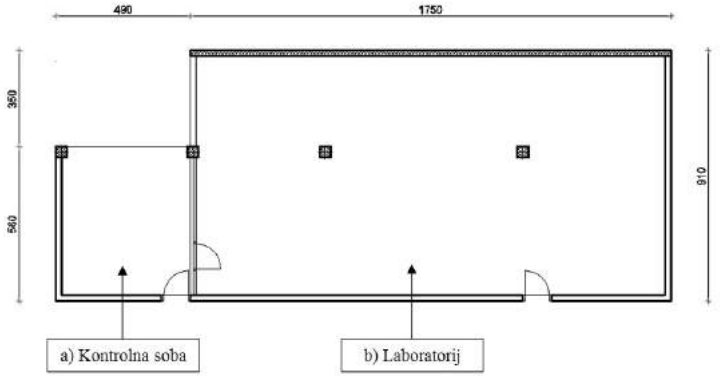
Zainteresiranima se, nakon diplomiranja, nadalje nudi mogućnost upisa na doktorski studij Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, gdje će kroz odgovarajuće kolegije

moći nastaviti prethodno obavljena istraživanja i započeti sa znanstveno-istraživačkim radom u poglavljima *eksperimentalne hidrodinamike* (MIT, 2011).

Od sadašnjih tema u području *eksperimentalne hidrodinamike* su svakako nadzemni tokovi i propagacija površinskih valova. Naime, već sa temom hidrauličkog skoka, koji studenti izučavaju na diplomskom studiju, otvara se prostor za znanstveno-istraživački rad na temi disipacije energije u skoku. Zahtjevnost teme se očituje u složenom strujnom polju unutar hidrauličkog skoka. Naime, već je ranije struktura površinske zone skoka plijenila pažnju eksperimentalnih istraživača. Na osnovu provedenih ispitivanja, jedni tvrde da je hidraulički skok valjak vode koji rotira iznad osnovnog toka, preteči zakone gibanja krutog tijela. S druge strane, postoje oni koji tvrde da se čestice ipak gibaju po zatvorenim putanjama (Agroskin i drugi, 1973). Slične teme, kao i mnoge druge iz ostalih područja *eksperimentalne hidrodinamike*, mogu se i trebaju istraživati u prostorijama hidrotehničkog laboratorija.

4. HIDROTEHNIČKI LABORATORIJ

U novoj zgradi Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci predviđen je radni prostor od cca 150 m^2 za potrebe instrumentarija te nastavne i znanstveno-istraživačke aktivnosti hidrotehničkog laboratorija. Pripadajuće tlocrtne dispozicije laboratorija vidljive su na slici 5.



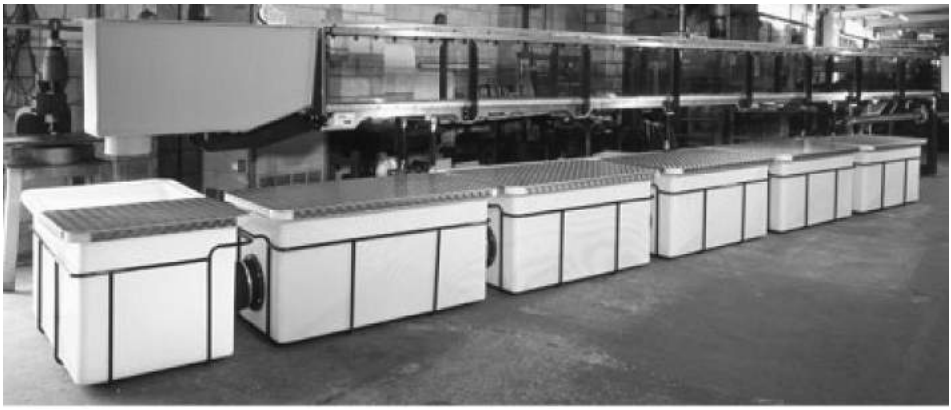
Slika 5. Tlocrt Hidrotehničkog laboratorija u novoj zgradi Građevinskog fakulteta u Rijeci

U laboratoriju će se korištenjem odgovarajuće opreme u relativno malom prostoru moći demonstrirati različiti hidrodinamički procesi vezani uz:

- hidrauliku nadzemnih tokova, kao što su: strujanje preko preljeva (vakuumskih preljeva kao što su Bazinov preljev, Ponceletov preljev, Cipollettijev preljev i Thomsonov preljev te bez-vakuumskog Creagerovog preljeva), te ispod ustave, hidraulički skok, strujanje u otvorenim koritima, mjerenje protoka i brzine u otvorenim koritima, disipacija energije, promatranje procesa transporta nanosa, itd. (na slici 6 dan je prikaz višenamjenskog hidrauličkog kanala kupljenog za potrebe nastave na Katedri za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci),

- filtracijske tokove kroz poroznu granularnu sredinu: radijalni tokovi, vertikalni tokovi oko dijafragmi i temelja brana, pronos zagađenja te mnogi druge filtracijski procesi (na slici 7 prikazana je eksperimentalna komora za procjeđivanje planirana za kupnju također za potrebe nastave na Katedri za hidrotehniku),
- infiltraciju vode u nesaturiranim poroznim sredinama, istraživanje interakcije nadzemnih i podzemnih tokova, kao i za studije tokova u heterogenim i anizotropnim sredinama (na slici 8 prikazana je eksperimentalna komora za infiltraciju oborina čija je kupnja planirana za potrebe nastave na Katedri za hidrotehniku),

istraživanje hidrodinamičke disperzije i difuzije u moru, mjerenje karakterističnih parametra utjecaja valova na konstrukcije, istraživanja nadzemnih tokova i proloma brana, preljeva, ispusta, regulacijskih i evakuacijskih objekata te za mnoge druge aktivnosti provodit će se korištenjem planiranog višenamjenskog eksperimentalnog bazena.



Slika 6. Višenamjenski hidraulički kanal

Slika 7. Eksperimentalna komora za procjeđivanje

Slika 8. Eksperimentalna komora za infiltraciju oborina

Za prikupljanje i spremanje podataka u realnom vremenu, koristit će se više digitalnih i analognih senzora za snimanje različitih polja fizikalnih veličina. Pritom, neophodno je i raspolagati analogno – digitalnim konverterom. Od važnije senzorske opreme, treba istaknuti da će laboratoriji raspolagati digitalnim i analognim tlakomjerima, laserskim i akustičnim Dopplerovim mjeračima brzine, tronožnim mjeračima razine vode te malim vodonepropusnim video kamerama za snimanje i detaljno vizualizirane lokalnih hidrodinamičkih procesa. U svrhu razvijanja i testiranja originalnih numeričkih algoritama, predviđeno je suradnja sa ranije spomenutim Centrom za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci koji će preko sredstava IPA biti opremljeno i najkvalitetnijim superračunalom u ovoj regiji. Objektivno se može zaključiti da navedena oprema pravi plodnu radnu podlogu za unapređenje nastave iz hidrotehnike, te provedbu znanstveno-istraživačkih radnji u aktualnim područjima hidrotehnike.

5. ZAVRŠNI KOMENTAR

Nedvojbeno je da će uvođenje kolegija *Eksperimentalna hidraulika* obogatiti nastavni program hidrotehničkog usmjerenja te omogućiti da se i složenije teme hidrotehničkog inženjerstva već na diplomskom studiju, prezentiraju na mnogi pristupačniji način. Realizacija hidrotehničkog laboratorija će unaprijediti nastavu već na preddiplomskom sveučilišnom studiju (*Hidromehanika)* te je izrazito važna za nastavu iz više kolegija na hidrotehničkom usmjerenju diplomskog sveučilišnog studija Građevinarstvo *(Hidraulika, Eksperimentalna hidraulika i dr.)*.

Osim u svakodnevnoj nastavi u sklopu navedenih predmeta, aktivnosti laboratorija će obuhvatiti i omogućiti izradu diplomskih radova iz područja eksperimentalne hidraulike. Buduća eksperimentalna istraživanja, provedena izvan nastavnih aktivnosti, kao i u svrhu izrade disertacija i znanstvenih istraživanja, će nedvojbeno pospješiti znanstvenu produktivnost sudionika u eksperimentalnom radu. Novonastale teorije i ideje, numeričke modele i pretpostavke, biti će moguće testirati, postavljajući ih pred eksperimentalnu kušnju.

LITERATURA

[1] Agroskin, I.I., Dimitrijev, G.T., Pikalov, F.I. (1973): *Hidraulika*, Tehnička knjiga, Zagreb, 331 str.

[2] Bonacci, O., Kisić, I., Ožanić, N. (2010): *Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj* - Hrvatska platforma za smanjenje rizika od katastrofa , Trut D. (ur.), Državna uprava za zaštitu i spašavanje (2010), Zagreb, str. 72-77.

[3] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2011): *Plan i program diplomskoga sveučilišnog studijskog programa Građevinarstvo*, Rijeka, svibanj 2010.

[4] Massachusetts Institute of Technology (MIT), Experimental Hydrodynamics Laboratory (EHL), http://www.mit.edu/~ehl/ballistics.html, (25.02.2011.)

AUTORI

doc. dr. sc. Vanja Travaš [a]
prof. dr. sc. Nevenka Ožanić [a]
doc. dr. sc. Barbara Karleuša [a]

[a] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V.C.Emina 5, Rijeka, 51000, Hrvatska, vanja.travas@gradri.hr, nozanic@gradri.hr, barbara.karleusa@gradri.hr

R 4.04.

NOVI PRISTUP PLANIRANJU U VODNOM GOSPODARSTVU S POSEBNIM NAGLASNOM NA FINANCIJSKO PLANIRANJE

Snježana Zbašnik

SAŽETAK: Suvremeni aspekti upravljanja javnim financijama stavljaju veći naglasak na uspješnost, osiguranje većeg broja usluga / korisnih učinaka i višu kvalitetu u pružanju postojećih javnih dobara i usluga. Budući su ograničena sredstva kojima se mogu ostvariti zacrtani ciljevi, na važnosti u njihovu ostvarenju dobivaju planovi odnosno proces planiranja.

Donošenjem i prihvaćanjem Strategije upravljanja vodama ostvarene su pretpostavke uvođenja strateškog planiranja u gospodarenju vodama pošto su, na osnovi analize stanja vodnog sektora, utvrđeni ciljevi upravljanja vodama, razvojni pravci vodnog sektora, te rokovi i načini na koje je to moguće ostvariti. Nastavno, uvođenjem strateškog planiranja javlja se potreba za promjenama dosadašnjeg načina financijskog promišljanja u izradi Financijskih planova. U radu su sagledani i prokomentirani novi pristupi u planiranju u vodnom gospodarstvu Republike Hrvatske, s ciljem bolje koordinacije u procesu odlučivanja o ključnim pitanjima iz domene vodnoga gospodarenja u Republici Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: plan, planiranje, vodno gospodarstvo, financijski plan

1. KRATKI UVOD U FINANCIJSKO PLANIRANJE

Planiranje je prva funkcija upravljanja kojom započinje upravljački proces i kao takav čini jednu od redovitih zadaća svakog poslovnog subjekta.[1] Brojnim definicijama planiranja zajedničko je određivanje planiranja kao sustavnog i na budućnost usmjerenog promišljanja i utvrđivanja ciljeva, mjera, sredstava i načina za dostizanje postavljenog. Rezultat planiranja su planovi. Plan predstavlja rezultat procesa planiranja kojim se definiraju ciljevi i zadaci, aktivnosti i potrebni resursi za ostvarenje postavljenih ciljeva i zadataka, izražavaju se u brojkama, i utvrđuje se vrijeme obuhvata plana.

Planiranje je sustavan proces što znači da se paralelno izrađuje glavni poslovni plan i pojedinačni planovi po pojedinim organizacijskim dijelovima koji međusobno trebaju biti usklađeni i obuhvatiti sve aktivnosti, sudionike i instrumentarij planiranja.

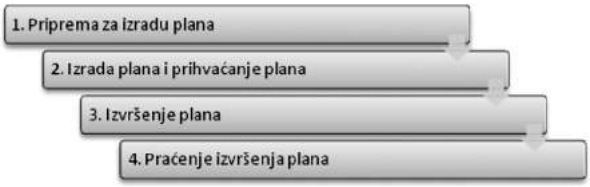
U teoriji i praksi nerijetko se pojmovi „plan“ i „budžet“ izjednačuju, što je ispravno samo

1 Upravljačke funkcije jesu: planiranje, organiziranje, upravljanje ljudskim resursima, rukovođenje i kontroling.

ukoliko oboje sadržavaju predviđene veličine o poslovanju u novčanim jedinicama. Prema anglosaksonskoj terminologiji „plan“ sadrži ono što se želi postići (kvantificirane ciljeve), dok „budžet“ ono što treba ostvariti od plana u određenom razdoblju, a izraženo je u novčanim jedinicama.

Noviji pristupi upravljanja financijama javnog sektora sve veći naglasak stavljaju na proces planiranja. Kakav će biti sustav planiranja zavisi prvenstveno o uvjetima poslovnog okruženja u kojem poslovni subjekt posluje, te njegovoj poslovnoj filozofiji. Pri tome dugoročni planovi, sadrže manje detalja i općenitiji su, ali su istodobno i složeniji te zahtijevaju više znanja, vizije, kreativnosti, sadrže više rizika i neizvjesnosti. Razina menedžmenta koja planira i odgovara za njihovo izvršenje raste s dužinom vremena za koje se plan donosi.

Proces planiranja odvija se kroz četiri faze koje prikazuje slijedeća slika.



Slika 1. – Proces planiranja

Planiranje u vodnom gospodarstvu predstavlja proces i sredstvo kojim se unaprjeđuje upravljanje vodnim resursima, a koji se odvija od procjene sadašnjeg stanja i očekivanog stanja, postavljanja ciljeva do programskog razvoja svih mjera i aktivnosti, i konačno do sustavnog motrenja rezultata i učinaka provedenih mjera i aktivnosti. Cilj planiranja u vodnome gospodarstvu je između ostalog i omogućiti integriranje različitih interesa svih dionika na pravi način i u odgovarajućem omjeru. U tom je smjeru donesen i Zakon o vodama, koji ističe važnost planiranja i definira planske dokumente u upravljanju vodama, i to: Strategiju upravljanja vodama, Plan upravljanja vodnim područjima, Višegodišnje programe gradnje, Financijski plan Hrvatskih voda, Plan upravljanja vodama i ostale operativne planove.

2. OBILJEŽJA I KARAKTERISTIKE PLANIRANJA U VODNOM GOSPODARSTVU REPUBLIKE HRVATSKE

Vodni sektor u Republici Hrvatskoj djeluje putem vodnog gospodarstva na državnoj razini, vodno komunalnog gospodarstva na lokalnoj odnosno regionalnoj razini, te putem dionika - gospodarskih subjekata koji pri obavljanju djelatnosti koriste vodu i vodno dobro djelujući na tržišnim osnovama.Tako postavljen vodni sektor predstavlja značajan pokretač gospodarstva putem pripreme, izgradnje, opremanja, održavanja i pogon vodnih građevina i sustava, što pridonosi ukupnom društvenom i ekonomskom razvoju zemlje.

Navedene aktivnosti se najvećim dijelom financiraju sredstvima vodnih naknada koje plaćaju korisnici vodnog sustava odnosno onečišćivači voda (izvorna sredstva), dok se u manjem dijelu financiraju sredstvima državnog proračuna, proračuna jedinica regionalne (lokalne) samouprave, te ostalih izvora.

Općenito, za vodno gospodarstvo je karakteristično da ne ostvaruje nikakva sredstva na

tržišnim osnovama budući se ne proizvode nikakvi proizvodi odnosno obavljajući poslove javnih ovlasti u upravljanja vodama ne pružaju se usluge za koje je moguće ostvariti ekvivalentnu cijenu od korisnika vodnoga sustava. K tome, korisnici vodnoga sustava se ne mogu odreći učinaka koju se ostvaruju obranom od poplava i drugih oblika zaštite od štetnog djelovanja voda i zaštitom voda od onečišćenja kao i korisnih učinaka drugih vodnogospodarskih poslova budući se tom djelatnošću stvaraju uvjeti za normalan život i rad svih osoba i za obavljanje različitih djelatnosti.

Zakon o vodama ističe važnost planiranja definirajući planske dokumenteza upravljanje vodama. Temeljna svrha planskih dokumenata u vodnom gospodarstvu jest usklađivanje svih razina planiranja u uređenu jednogodišnju/višegodišnju projekciju s jasno definiranim koracima za njezino ostvarenje. Donesena zakonska regulativa je prepoznala važnost planiranja kao jedne od bitnih odrednica upravljačkog procesa, uslijed čega proizlazi nužnost promijene u dosadašnjoj politici planiranja koju su obilježile slijedeće karakteristike:

1. Planiranje u vodnom sektoru Republike Hrvatske u najvećem dijelu svodilo se na izradu operativnih planova: Financijskog plana i Plana upravljanja vodama, odnosno proces planiranja provodio se konzervativnim pristupom temeljenom na postojećim resursima i razmišljanju što se s tim resursima može učiniti;
2. Budući nisu postojali strateški planski dokumenti, planiranje nije bilo sustavno, što znači da se nije paralelno izrađivao glavni poslovni plan i pojedinačni poslovni planovi, već se pojavilo veći broj planskih dokumenata koji nerijetko nisu bili usuglašeni, a u procesu planiranja koristio se„bottomup“ pristup;
3. Planiranje temeljeno na postojećim resursima kao i na razmišljanju što se s njima može napraviti, u financijskom smislu nije učinkovito što je bila dosadašnja praksa u izradi planova koje je bilo usmjereno na uspoređivanje prošlogodišnjeg plana i ostvarene veličine, predstavljajući polazišnu osnovu za novi plan, temeljem kojih su se povećavali / smanjivali prihodi i troškovi bez promišljanja i argumentiranja pozadine promijene svake stavke i bez dubljih analiza. Također, u istima se nisu korišteni dodatni planovi kojima se planiraju određeni ciljani troškovi kao npr. plan kadrova, plan naplate, plan nabave, plan ušteda energenata i slično;
4. Dosadašnje planiranje imalo je obilježja administrativnog i formalnog planiranja nesklonog promjenama, pomicanjima i izmjenama uvjeta poslovanja, koji obilježavaju ograničene mogućnosti vremenske kontrole i rezultata;
5. Pri planiranju nisu utvrđivani pokazatelji uspješnosti i način njihovog praćenja pri izvršenju planova, odnosno planiranje se temeljilo na izvješćivanju koliko se planira potrošiti za svaku pojedinačnu stavku plana. Ovako planiranje je najjednostavnije i ne daje informacije u svezi s aktivnostima i funkcijama programa, aktivnostima i mjerama, kao što i ne daje odgovore na pitanja: Što se želi postići? Koliko će stajati postizanje tog dugoročnog cilja?. Naime, informacije o tome koliko se troši za plaće, materijale, održavanje i izgradnju vodnogospodarskeinfrastrukture ne otkriva mnogo učinkovitosti ulaganja, kvaliteti istih, odnosno kvaliteti postojećih javnih dobara i usluga korisnika vodnoga sektora;

Upravo iz gore navedenih obilježja dosadašnjeg planiranja u vodnome sektoru proizlazi potreba za promjenama. U nastavku će biti sagledani novi pristupi u planiranju u vodnom gospodarstvu Republike Hrvatske, s ciljem bolje koordinacije u procesu odlučivanja o ključnim pitanjima iz domene vodnoga gospodarenja u Republici Hrvatskoj.

3. PROCES PLANIRANJA U VODNOM GOSPODARSTVU - NOVI PRISTUP U FINANCIJSKOM PLANIRANJU

Razvoj učinkovitog i održivog sustava upravljanja javnim financijama zahtjeva institucionalni okvir koji će uz osiguranje financijske discipline biti usredotočen i na osiguranje strateške alokacije sredstava, te efikasnije pružanje javnih usluga.

a. Priprema za izradu financijskog plana

Financijsko planiranje je operativno planiranje koje se redovito pojavljuje svake godine u isto doba, s istom svrhom i razlogom, a to je novčano definiranje postavljenih poslovnih ciljeva sa svrhom uspješne realizacije.

Proces planiranja započinje pripremnim radnjama za izradu financijskog plana što uključuje definiranje metoda i načina planiranja, izradu planske dokumentacije, analizu postojećih veličina, određivanje sudionika procesa planiranja odnosno nositelja zadataka, predviđanje vremena i troškova izrada plana.

U procesu planiranja potrebno je sagledati interne i eksterne utjecaje koji mogu imati izravne i neizravne učinke na financijsko planiranje.[2] Naime, interne i eksterne utjecaje treba sagledati kao snagu i prilike odnosno kao prijetnju poslovanju koje treba dobro upoznati i iskoristiti odnosno spriječiti posljedice njihova djelovanja u procesu planiranja putem oblikovanja SWOT matrice.[3]

U nastavku su sagledane snage i slabosti, te prilike i prijetnje hrvatskog vodnog sektora.

2 Interne utjecaje sačinjavaju svi sudionici u vodnome gospodarenju: javne usluge, učinci ostvarenja obrane od poplava i drugih oblika zaštite od štetnog djelovanja voda, zaštita od onečišćenja, obveznici vodnih naknada, najvažniji poslovni odjeli, poslovni ciljevi, raspoloživi resursi (vodne naknade, sredstva državnog proračuna i ostali izvori financiranja), menadžment (znanje, vještine, motiviranost), procjena zaposlenih (obrazovanje, iskustvo, motiviranost, brojčano stanje), organizaciju (fleksibilnost, stupanj centraliziranosti / decentraliziranosti), te mogućnost tehnološke i informatičke opremljenosti u osiguravanju odgovarajuće podrške poslovnim procesima. Eksterni odnosno vanjski čimbenici sagledavaju se putem makroekonomskih i fiskalnih projekcija koje predstavljaju podlogu izrade financijskog plana. Na njih se ne može utjecati ali ih se ne smije zaobići pri financijskom planiranju, već treba prilagođavati svoje poslovanje i to na način da se uzmu u obzir slijedeća kretanja: bruto društvenog proizvoda, inflacije, kamata, poreza, tržišta novca, politike plaća, zakonske regulative (smanjenje/povećanje poreza, vodnih naknada, trošarina, poticaja), fiskalna i porezna politika, kreditna politika tuzemnih i inozemnih banaka.

3 SWOT matrica predstavlja agronim engleskih riječi strength (snaga), weakness(slabost), opportunities (prilika) i threats (prijetnja).

ŠANSE	RIZICI
S – SNAGE - Stabilna i sigurna izvorna sredstva (vodne naknade); - Samofinanciranje, niska zaduženost; - Kvalitetni i stručni kadrovi; - Dugogodišnja tradicija; - Uspostavljena organizacija upravljanja vodama; - Niski troškovi poslovanja; - Donesena Strategija upravljanja vodama	**W – SLABOSTI** - Birokratska struktura - Slab image i samopromocija kod korisnika vodnih usluga; - Okrenutost prema unutra, bavljenje aktualnim problemima; - Nedovoljna transparentnost; - Administrativni pristup pri planiranju; - Nefleksibilnost pri planiranju odnosno izmjeni planskih dokumenata;
O – PRILIKE - Povećanje ekoloških standarda uključujući i u vodnom sektoru; - Rast uloga i značaj vode i upravljanja vodama; - Povećanje potrebe za ulaganjem u vodnom sektoru; - Uvođenje strateškog, taktičkog i operativnog planiranja; - Dostupnost IFI izvora (EU fondova i ostalih međudržavnih izvora; financiranja)	**T – PRIJETNJE** - Promjenjiva vladina politika; - Promjenjiva zakonska regulativa; - Odljev stručnih kadrova; - Recesija – smanjenje izvornih prihoda; - Iznenadna onečišćenja, poplave i slično

Tablica1. – Primjer SWOT matrice u hrvatskom vodnom gospodarstvu

Unutarnje snage zajedno s prilikama u okruženju ukazuju na šanse učinkovitog i uspješnog upravljanja, dok unutarnje slabosti i vanjske opasnosti ukazuju na rizike koje treba ukloniti ili ograničiti čime se može generirati poslovna strategija vodnog sektora na način da se iskoriste snage i istodobno minimaliziraju slabosti, te kapitaliziraju prilike i minimaliziraju prijetnje. Usmjeravanjem uočenih prilika ka prijetnjama, odnosno pretvaranjem slabosti u snagu može se postići dugoročna održivost vodnoga gospodarenja.

a. Izrada plana

Hrvatske vode kao izvanproračunski korisnik izrađuju financijski plan sukladno odredbama Zakona o proračunu (Narodne novine, 87/08) koji sadržava programe utvrđene aktima planiranja u kojima su iskazani planirani prihodi i primici, te rashodi i izdaci razrađeni po vrstama prihoda i primitaka, aktivnostima i projektima, po godinama u skladu s propisanim klasifikacijama.

Prema navedenom Zakonu, Financijski plan Hrvatskih voda sastoji se od općeg dijela kojeg čine Račun prihoda i rashoda i Račun financiranja i posebnog dijela u kojem su iskazana prihodi i primici te rashodi i izdaci raspoređeni po programima[4], koji se sastoje od aktivnost[5] i projekata[6]. Programi koji sadržava posebni dio Financijskog plana Hrvatskih voda jesu: zaštita od štetnog djelovanja voda, vodoopskrba, zaštita voda i navodnjavanje

4 Program je skup neovisnih i usko povezanih aktivnosti i projekata usmjerenih ispunjenju zajedničkog cilja.

5 Aktivnost je dio programa za koji nije unaprijed utvrđeno vrijeme trajanja, a u kojem su planirani rashodi i izdaci za ostvarivanje ciljeva utvrđenih programom.

6 Projekt je sastavni dio programa za koji je unaprijed utvrđeno vrijeme trajanja i u kojem su planirani rashodi i izdaci za ostvarivanje ciljeva utvrđenih programom.

uvažavajući lokacijsku klasifikaciji odnosno prikaz rashoda i izdataka prema teritorijalno definiranim cjelinama prema navedenim programima, odnosno prema pojedinom projektu i prema izvorima financiranja. Propisivanje programa u izradi Financijskog plana usmjereno je ka uvođenju programskog planiranja u vodnom gospodarstvu sa svrhom učinkovitijeg pružanja javnih dobara i usluga u okviru pojedinog programa.[7]

Programsko planiranje zahtjeva organiziranje aktivnost u programe, određujući mogućnosti za postizanja svakog cilja, troškove i koristi za svaku mogućnost te odabir mogućnosti za postizanje najveće koristi. Pri programskom planiranju usredotočenost je na ukupne troškove i razinu izvedbe programa a ne na cijenu pojedinih stavaka, popraćeno je brojnim analizama i dokumentacijama. Na taj način naglašava se kvaliteta i cijena usluge, odnosno primaran kriteriji ne predstavlja cijena kupljenih stvari što je obilježje linijskog planiranja. Slijedom navedenog pri izradi financijskih planova potrebno je uvesti njihovu usmjerenost ka rezultatima pokazujući djelotvornost, odnosno procjenu rezultata programa kao i kvalitetu pruženih usluga odabranim programima. Da bi se to ostvarilo, pri izradi financijskih planova treba postaviti pokazatelje uspješnosti koji čine osnovu za uspostavu sustava praćenja ispunjavanja postavljenih ciljeva, te istodobnoosiguravaju informacije za izvještavanje o postignutim rezultatima. Pri tome kao inputi postavljaju se aktivnosti odnosno sredstva koja su potreba za provođenje aktivnosti da bi se ostvarili postavljeni ciljeve, dok rezultate (output) čine izravni rezultati aktivnosti odnosno proizvedena dobra i usluge koji su rezultat različitih aktivnosti u funkciji ostvarenja postavljenih ciljeva8. Slijedom navedenog proizlazi nužnost nadogradnje Financijskog plana implementiranjem planiranja programa po godinama, iskazivanjem pokazatelja učinka (definirati jedinicu, mjere, polaznu vrijednost, izvor podataka - monitoring, ciljanu vrijednost), aktivnosti/projekata kojim se utvrđuje minimalno jedan pokazatelj rezultata s polaznom i ciljanom vrijednošću. Pri definiranju pokazatelja uspješnosti koji predstavljaju konkretne znakove da je nešto učinjeno potrebno je voditi računa da isti budu specifični (da mjere ono što trebaju mjeriti), mjerljivi, dostupni (u okviru prihvatljivih troškova), relevantni i vremenski određeni.

Program 2. - Vodoopskrba	Godina		
	2010.	2011.	2012.
2.1. Ulaganje u obnovu i razvitak vodoopskrbe	200	210	212
2.2. Izrada projektne dokumentacije	21	30	30
2.3. Hitne intervencije	20	16	9
SVEUKUPNO PROGRAM 2.	241	256	251

Izvor: www.mfin.hr

Tablica 2.–Primjer pokazatelja financijskih ulaganja (inputa) u program vodoopskrbe, u mln. kn

7 To zahtjeva cjelovit zaokret u procesu planiranja koje je do sada bilo isključivo linijsko usmjereno na ukazivanje potrošnje po pojedinoj stavci, uz vrlo skromne mogućnosti pružanja informacija u svezi s aktivnostima i funkcijama programa i aktivnosti (npr. Koliko je izgrađeno kanala u km? odnosno Koliko je stanovnika obranjeno? Opskrbljeno vodom?).

8 Primjer inputa – Koliko je potrebno financijskih sredstava da bi se smanjio rizik od poplave na jednom vodnom području za 20%?; Output - izgradnja brane na istom vodnom području; Outcomes predstavlja – sigurnost ljudi i imovine

Pri postavljanju pokazatelja rezultata potrebno je voditi računa o fazi realizacije postavljenih ciljeva budući da bi indikatori bili reprezentativni zahtijevaju prilagodbu vezano uz fazu realizacije.[9]

Pokazatelji učinka (outcome)

Opći cilj programa vodoopskrbe	Posebni cilj	Pokazatelj učinka (outcome)	Definicija	Jedninica	Polazna vrijednost	Ciljana vrijednost		
						2011	2012	2013
2.1. Stvoriti uvjete za održivost vodoopskrbnih sustava osiguranjem dovoljnih količina voda potebne kakvoće direktnim korištenjem ili kondicioniranjem	2.1.1. Osigurati dovoljne količine kvalitetne pitke voda za javnu vodoopskrbu stanovništva	Postotak opskrbljenosti vodom (stanovništva i gospodarstva)	Povećanjem opskbrljnosti vodom osigurati će dovoljen količine potrebne kakvoće voda stanovništvu i gospodarstvo	%	70	72	78	85

Pokazatelja rezultata (output)

Način ostvarivanja postavljenog cilja	Pokazatelj učinka (outcome)	Jedinica	Polazna vrijednost	Ciljana vrijednost		
				2011	2012	2013
2.1.1.1. Sanacija postojećih vodoopskrbnih cijevi	Gubitak u vodoopskrbnoj mreži	%	30	25	15	10
2.1.1.2. Izgradnja novih vodoopskrbnih sustava	Priključenost stanovništva	%	60	70	80	90
2.1.1.3. Povećanjem broja crpnih mjesta	Broj crpilišta	Broj	15	17	18	20

Tablica 3. – Primjer pokazatelja učinka i pokazatelja rezultata za program vodoopskrb

Naime, navedene prilagodbe i nadopune pokazatelja učinaka potrebno je mijenjati i prilagođavati sukladno projektnoj fazi prvenstveno radi postizanja realnog i objektivnog praćenja realizacije postavljenih planova, budući je za investicijski ciklus u vodnom gospodarstvu karakteristično da su finalni učinci vidljivi nakon 5 i više godina investiranja, dok su isti u prvim godinama zanemarivi jer se uglavnom radi o kapitalnim investicijama, čiji je pripremno razdobljetraje od 2 do 3 godine, a razdoblje gradnje više od 3 godine. Stoga se postavljeni posebni ciljevi ostvaruju tek nakon što se sustav stavi u funkciju.

Neprilagođavanje indikatora fazi realizacije projekta onemogućava kvalitetan uvid u poduzete aktivnostima u upravljanju vodama.

Da bi se što učinkovitije proveo proces financijskog planiranja potrebno je primijeniti nekoliko metoda koje mogu pripomoći u izradi financijskog plana i dati mu realnu viziju. Tako metodom ABC tzv. „ActivityBasedCosting“, troškovi se raspoređuju za svaku aktivnost sukladno s prihodovnom stranom u određenom vremenu. To znači da se troškovi planiraju, izvršavaju i prate prema izvorima financiranja. Metoda „Whatif“ odnosno “Što ako” mjeri financijsku osjetljivost plana na način da se poveća troškovna strana pojedine aktivnosti za određeni broj novčanih jedinica, dok se istodobno smanjuje prihodovna strana za navedeni iznos. Na taj način dobije se uvid u različite ishode plana (dobar/najvjerojatniji/loš), odnosno dobije se nekoliko vrsta planova. Također, javlja se potreba za kontrolom trošenja novca u određenom vremenu, tzv. Rokovnik trošenja novca uz razvijanje obrazaca kojom bi se izbjegli nepotrebni i neplanirani troškovi.

c. Izvršenje plana

Izvršenje plana započinje pokretanjem svih aktivnosti potrebnih za realizaciju planiranih stavki u financijskom planu. U tome značajnu ulogu ima praćenje njegovog ostvarenja i poduzimanje korektivnih aktivnosti i prilagodbe plana vezanih uz odstupanja ili prom-

9 Tako npr. pri izgradnji novih vodoopskrbnih sustava kao indikatori pripremnoj fazi prije gradnje pojaviti će se broj izvlaštenih čestica, broj izdanih građevnih dozvola, broj izrađenih projektnih zadataka, broj projekata, da bi se tijekom faze izgradnje navedeni indikatori nadopunili novima kao što su km iskopanih kanala, km ugrađenih cijevi, broj priključenih kućanstava / industrije, odnosno priključenost stanovništava.

jena u poslovanju kako bi se pravovremeno korigirali poslovni poremećaji i istodobno ostvarilo uspješno upravljanje poslovanjem. Da bi se mogla izvršiti analiza izvršenja plana potrebno je godišnji plan za sve aspekte poslovnog rezultata svesti na broj mjeseci za koji se vrši analiza ostvarenja plana (uz pretpostavku da je poslovanje ujednačeno kroz čitavu godinu). Uvođenjem ekvivalentne jedinice učinka kao mjere u analizi izvršenja financijskog plana može se kvantificirati utjecaj pojedinih čimbenika na višak / manjak prihoda kao mjere poslovnog rezultata čime se dodatno dobiva na kvaliteti praćenje realizacije financijskog plana.

Utvrdi li se analizom izvršenja plana odstupanje iznad određenih granica tolerancije potrebno je započeti proces rebalansa koji znači izradu novog plana nakon što ga inicira i prihvati tijelo upravljanja. Granice tolerancije koje zahtijevaju izradu novih planova najniže su kod godišnjih planova (1-5%), veće su kod taktičkih planova (5-10%), a najveće kod strategijskih planova (20-30%).

U praćenju izvršenja plana značajnu ulogu imaju pokazatelji uspješnosti. Za svaki posebni cilj definirano je 1-5 pokazatelja uspješnosti[10] kojima se prati ostvarenje postavljenih posebnih ciljeva. Postoji nekoliko vrsta pokazatelja uspješnosti i to: pokazatelji efikasnosti (stavljaju u odnos rezultata prema inputima npr. odnos dužine saniranih cijevi u km i uloženih sredstava), ekonomski pokazatelji (odnos sredstava prema inputima npr. odnos prihoda od vodoopskrbe na novo-umreženoj lokaciji i rashoda iste lokacije), pokazatelji rezultata (koji u javnom sektoru predstavljaju pružene usluge/dobra npr. smanjenje gubitaka u vodoopskrbnoj mreži), pokazatelji učinaka (koji su izravno vezani uz ostvarenje postavljenih ciljeva kao npr. postotak opskrbljenosti vodom).

Praćenjem navedenih pokazatelja osigurava se troškovna učinkovitost i efikasnije upravljanje javnim sredstvima, prate se i vrednuju ostvareni rezultati u skladu s postavljenim ciljevima, doprinoseći razlozima opravdanosti prijedloga financijskog plana s obzirom na visinu rashoda, odstupanja u odnosu na prethodne godine, naglašavajući specifičnosti i usmjerenost ka postavljenim općim i posebnim ciljevima.

4. UMJESTO ZAKLJUČKA - SMJERNICE ZA IZRADU FINANCIJSKIH PLANOVA

Strateškim planom definiraju se pravci djelovanja, dok se financijskim planom definiraju programi, aktivnosti i projekti te osiguravaju sredstva za njihovu provedbu. Uvođenjem strateškog planiranja započinje se s praćenjem provedbe strateških planova, što zahtjeva cjelovit zaokret u dosadašnjoj poslovnoj praksi planiranja budući se želi pravodobno uočiti odstupanja u odnosu na planirane veličine, te dobiti uvid na utjecaj mogućih odstupanja na postavljene ciljeve. Upravo iz toga proizlazi važnost planiranja kao prve upravljačke funkcije, koja, ukoliko nije dobro odrađena, može utjecati na neefikasnost i neučinkovitost ostalih funkcija menadžmenta. U tom smjeru mogu se uputiti određene smjernice pri izradi financijskih planova u vodnom sektoru:

10 Pokazatelji uspješnosti odražavaju ostvarenje postavljenih ciljeva. Dobiju se stavljanjem u odnos učinka prema inputima.

1. Budućnost u vodnom gospodarstvu se ne može točno predvidjeti, zbog čega se planiranje kao proces odvija u uvjetima nesigurnosti. Upravo stoga, financijski plan treba sagledati kao križaljku s mnoštvom ograničenja, ali i mogućnosti kojim se postižu zacrtani ciljevi prilagođavajući se okolnostima u okruženju, pravilnim rasporedom sredstava utječući na rizike i izazove. Kvalitetan financijski plan ne sadržava samo aktivnost za povećanje prihodovne strane ili smanjenje rashodovne strane plana, već istim treba uravnotežiti odnosno rastegnuti obje strane u plus kako bi se maksimalizirala javna korist kao njihova razlika.
2. Izradi plana treba prethoditi dokument koji uključuje najvažnije smjernice i kretanje društva, postaviti mjerljive i ostvarive ciljeve, planirane rokove kako bi se financijskim planom mogli isplanirati načini ostvarenja postavljenih ciljeva kao i potrebni resursi. Pri tome važno je voditi računa da je financijski plan samo uputa o kretanju, a svi događaji koji naiđu na tom putu mogu se ispraviti, poboljšati i nadopuniti. To znači da pri financijskom planiranju u vodnom gospodarstvu treba biti prije svega fleksibilan.
3. Proces planiranja jest sustavan proces usmjeren na budućnost, s ciljem definiranja ciljeva, mjera, sredstava i putova za dostizanje postavljenih ciljeva. Uvođenje strateškog planiranja zahtjeva usklađenje svih razina planiranja u uređenu višegodišnju projekciju s jasno definiranim koracima za njezino ostvarenje. To znači da operativni poslovni planovi moraju biti međusobno usklađeni i trebaju osigurati realizaciju ciljeva izvedenih iz strateškog i/ili taktičkog plana. Navedeno u hrvatskom vodnom gospodarenju znači da se Financijski plan i Plan upravljanja vodama izvode iz Strategije upravljanja vodama odnosno Plana upravljanja vodnim područjima i Višegodišnjih programa gradnje, koji međusobnom usklađenošću su usmjereni ka ostvarenju postavljenih ciljeva u upravljanja vodama. Tako se omogućava da se proces upravljanja vodama na različitim razinama usmjeri ka ostvarenju istih ciljeva, uz mogućnost pravovremenog signaliziranja problema odnosno poduzimanja mjera za njihovo suzbijanje, kao i za donašanje odluke o povoljnijoj alternativi.
4. Kao neizbježna novina u financijskom planiranju pojavljuje se orijentiranost ka rezultatima pokazujući djelotvornost odnosno procjenu rezultata programa kao i kvalitetu pruženih usluga programima. U tom smislu potrebno je dosadašnje linijsko orijentirano financijsko planiranje usmjereno ka pružanju informacija o utrošenim sredstvima korištenim za pružanje javnih usluga, zamijeniti i nadopuniti programskim planiranjem odnosno planiranjem rezultata kojim će ukazati što se želi postići (dugoročno), koliko će koštati postizanje tog cilja, stvoriti osnovnu za usporedbu cijene i kvaliteta, te omogućiti provjeru postizanja ciljeva realizacijom programa.
5. Pri izradi financijskog plana preporuča se koristiti i dodatne pomoćne planove kao što je plan kadrova, plan naplate vodnih naknada, plan nabave, plan racionalizacije i slično u cilju postizanja racionalnog i kvalitetnog poslovanja utemeljenog na temeljnim načelima poslovanja: stabilnosti, sigurnosti, likvidnosti i dugoročnoj održivosti.
6. Planiranje je onoliko dobro koliko je kvalitetno i realno napravljeno, ali potrebno je kontinuirano pratiti ostvarenje i poduzimati trenutačno korektivne aktivnosti u možebitnim odstupanjima ili promjenama u poslovanju. Upravo iz toga proizlazi potreba za stalnom revizijom i prilagodbom plana u smislu eliminiranja neusklađenosti planskih i ostvarenih veličina. Jer odstupanja u planu događaju se ili zbog pogrešnog

planiranja ili zbog neočekivanih promjena u poslovanju, odnosno podbačaja realizacije. Upravo stoga, pri planiranju treba biti fleksibilan, kako bi se svi događaji i prepreke koji se nailaze ne putu ispravile, poboljšale i nadopunile, a ukupna korist društva ostvarenjem postavljenih ciljeva u domeni vodnog sektora ostvarila.

LITERATURA

[1] Avelini Holjevac, I.: Planiranje i kontroling, Računovodstvo, revizija i financije br 10/2004, Zagreb, 2004.

[2] Ivezić, V.: Planiranje u bankama, Računovodstvo, revizija i financije br. 11/2007, Zagreb, 2007.

[3] Jakir-Bajo, I.: Izrada financijskih planova proračunskih korisnika i proračuna za razdoblja 2011.-2013., Računovodstvo, revizija i financije br. 7/2010, Zagreb, 2010.

[4] Maletić, I., Jakir-Bajo, I.: Pristup planiranju u sustavu proračuna za razdoblje 2011.-2013., Riznica br. 8-9, Zagreb, 2010.

[5] Ministarstvo financija, Uputa za izradu strateških planova za razdoblje 2011.-2013., Zagreb, 2010.

[6] Očko, J.: Planiranje poslovanja kao stvaranje željene budućnosti, Računovodstvo, revizija i financije br. 1/2008, Zagreb, 2008.

[7] Osmanagić, B.: Operativno planiranje, Školska knjiga, Zagreb, 2002.

[8] Škorc, L.: Smjernice za izradu godišnjeg plana poslovanja za 2010., Računovodstvo, revizija i financije br. 11/2009, Zagreb, 2009.

[9] Zakono o proračunu, Narodne novine br. 87/2008, Zagreb, 2008.

[10] Pravilnik o sadržaju financijskog plana Hrvatskih voda, Narodne novine br. 93/2010, Zagreb, 2010.

AUTOR

mr.sc. Snježana Zbašnik, dipl.oec.

Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.05.

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA JAVNO PRIVATNOG PARTNERSTVA U IZGRADNJI SUSTAVA JAVNE VODOOPSKRBE, ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Boris Crnković, Željko Požega, Vedran Pejak

SAŽETAK: Bogatstvo izvorima pitke vode je, i u europskim i svjetskim razmjerima, izuzetna vrijednost i komparativna prednost Republike Hrvatske. Prioritet društva u cjelini trebala bi iti zaštita istih, upravo u navedenom cilju nužna je izgradnja ekonomski učinkovitih i ekološki prihvatljivih sustava javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Navedeni su sustavi u Republici Hrvatskoj do sada u pravilu javno financirani, međutim s obzirom na visoka ulaganja kao i sve veća proračunska ograničenja pitanje je koliko je navedeni model dugoročno održiv te se stoga, kao alternativan izvor financiranja nameće i javno privatno partnerstvo. Iako koncept nije novost, tek od 80-tih godina prošlog stoljeća raste njegova primjena u projektima izgradnje javne infrastrukture. Rad istražuje, uzroke primjene, prednosti i nedostatke te alternativne modele javno privatnog partnerstva u izgradnji sustava javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Istražujući dosadašnja inozemna iskustva u primjeni javno privatnog partnerstva ispituju se mogućnosti primjene takvih modela u Republici Hrvatskoj na primjeru općine Čepin.

KLJUČNE RIJEČI: voda, vodoopskrba, odvodnja, privatizacija, javno privatno partnerstvo, infrastruktura

POSSIBILITY FOR USE OF PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIPS IN CONSTRUCTION OF THE PUBLIC WATER SUPPLY, SEWERAGE AND WASTE WATER

SUMMARY: The wealth of the sources of drinking water, even in European and global level, is extraordinary value and competitive advantage of Republic of Croatia. The priority of the society should be to protect them and therefore it is essential to construct economically efficient and environmentally friendly systems of public water supply, sewage and waste water. These systems in the Republic of Croatia generally have been publicly funded. However, given the high investment cost and increasing budget constraints it is the question how are these models long-term sustainable. Therefore, as an alternative

source of financing are public-private partnership imposed. Although the concept is not new, only from the 80-ies of the last century, increase its use in projects of construction of public infrastructure. The paper explores the causes of application, advantages, disadvantages and alternative models of public private partnership in the public water supply, sewage and waste water systems. By exploring previous experiences in implementing public-private partnership paper examines the possibilities of applying such models in the Republic of Croatia on the example of community Čepin.

KEY WORDS: water, water supply, sewerage, privatization, public private partnership, infrastructure

1. UVOD

Činjenica da preko milijardu stanovnika zemlje nema pristup pitkoj vodi te da više od polovice stanovništva nije priključeno na sustave odvodnje otpadnih voda ukazuje na to da će se oko vode kao resursa nužnog za preživljavanje u skoroj budućnosti otvarati brojni prijepori. Voda je osnova života i sasvim je jasno da ljudska bića bez vode ne bi mogla živjeti. Voda igra važnu ulogu u svakoj funkciji ljudskog tijela, od zaštite imuniteta do izbacivanja štetnih stvari iz organizma. Iako se voda dakle može smatrati temeljnim ljudskim pravom, ona se može smatrati i ekonomskim dobrom. Upravo činjenica da se vodu promatra kao ekonomsko dobro vodi i do pitanja tko treba vršiti opskrbu vodom, privatni ili javni sektor. I zagovornici privatne i zagovornici javne opskrbe imaju svoje argumente, međutim evidentno je da razne razvojne agencije i međunarodne institucije značajno potiču uključivanje privatnog sektora u infrastrukturu općenito pa tako i vodoopskrbu i odvodnju. S druge strane, sustavi vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj do sada su u pravilu javno financirani uz upitnu dugoročnu održivost. U radu je kao jedna od alternativa javnom financiranju prikazan model javno privatnog partnerstva. Rad je podijeljen u četiri dijela: u prvom se dijelu raspravlja o karakteru vode kao ljudskog dobra, u drugom djelu razmotreno je pitanje privatizacije vode, treći dio rada prikazuje model javno privatnog partnerstva i njegovu primjenjivost u vodoopskrbi, dok je u četvrtom radu prikazana analiza slučaja općine Čepin.

2. VODA - LJUDSKO PRAVO

Da bi voda svoje funkcije obavljala učinkovito, ona kao takva mora biti dostupna i sigurna. Nedostatak sigurne i čiste vode uzrok je ozbiljnih bolesti (dijareja), koje ubijaju više od dva milijuna ljudi svake godine (uglavnom djecu i to uglavnom u zemljama u razvoju). Zagađena voda, bez obzira koristi li se za piće ili pripremu hrane narušava ljudsko zdravlje. voda je naravno važna i zbog higijene, uzgoja hrane (biljaka i životinja), odmora, rekreacije i mnogih drugih društvenih i kulturnih razloga (WHO, 2003.). Nadalje prema WHO (2003.) pristup opskrbi vodom smatra se osnovnim ljudskim pravom, kao što je i pristup nezagađenoj hrani. Međutim kao što je slučaj i s mnogim drugim ljudskim pravima mnogi ljudi nemaju taj pristup. Od cjelokupne ljudske populacije barem 1,1 milijarda ljudi nema dostupne izvore pitke vode. Nemogućnost pristupa sigurnoj vodi ima značajan negativan učinak na ljudsko zdravlje. Loše zdravlje ograničava ekonomski razvoj i borbu protiv siromaštva. Loša voda i odvodnja imaju utjecaj i na obrazovanje. Nadalje, voda je nužna i za poljoprivrednu i industrijsku proizvodnju. Povećanje dostupnosti vode može

povećati dohotke kućanstava, npr. potičući proizvodnju žitarica i poboljšavajući proizvodnju i uzgoj stoke. (WHO, 2003.)

Ljudska prava su zaštićena međunarodnim standardima koji osiguravaju temeljne slobode i dostojanstvo i za pojedinac i za zajednicu. Ona uključuju osobna, kulturalna, ekonomska, politička i socijalna prava. Ljudska prava u biti se bave odnosom između pojedinca i države. Obveze država po pitanju ljudskih prava u širokom smislu proizlaze iz obveze poštivanja, zaštite i izvršenja istih (WHO, 2002). Postavljanje pristupa dovoljnim količinama pitke vode kao temeljnog ljudskog prava predstavlja značajan korak ka ostvarivanju cilja dostupnosti pitke vode za svakoga. To znači (WHO, 2003.): dostupna pitka voda postaje prije pravno pitanje nego pitanje robe koja je dostupna uz nadoknadu; postizanje osnovne i poboljšane razine dostupnosti vode trebalo bi se ubrzati; voda postaje dostupnija onima kojima je bila najmanje dostupna i zbog toga se smanjuju nejednakosti; zajednice i ranjive grupe će biti potaknute da sudjeluju u procesu donošenja odluka; sredstva i mehanizmi koji su dostupni u sustavu zaštite ljudskih prava Ujedinjenih naroda koristit će se za nadgledanje procesa realizacije prava na pitku vodu. S druge, ekonomske strane, pitanje postavljanja tog temeljnog ljudskog prava nije toliko sporno koliko je sporno pitanje tko treba pružiti uslugu pitke vode svima, država ili privatni sektor?

3. PRIVATIZACIJA VODE

Pod pojmom privatizacije u vodoopskrbi i odvodnji smatra se alokacija dijela ili cjelokupne imovine ili upravljanja nad istom sa javnih poduzeća ka privatnom sektoru. Brojni su oblici privatizacije vode. Jedna od metoda je prenošenje javnih ovlasti nad samim upravljanjem vodnim resursima privatnom sektoru. Puno ekstremniji slučaj bila bi potpuna prodaja prava nad vodnim resursima privatnom sektoru. Razne razvojne agencije i međunarodne institucije (kao primjerice Svjetska banka) značajno su poticale uključivanje privatnog sektora u infrastrukturu još od početka devedesetih godina prošlog stoljeća. Očekivalo se da će uključivanje privatnog sektora u te do tada tradicionalno javne usluge donijeti i nove investicije i povećanje učinkovitosti u tim uslugama, koje su patile od, za javni sektor karakteristične, podinvestiranosti i neučinkovitosti koja proizlazi prvenstveno iz prevelikog političkog uplitanja i „rent seeking“ ponašanja različitih zainteresiranih skupina (državni birokrati, zaposlenici). Vjerovalo se da će se uključivanje privatnog sektora odraziti na učinkovitost i stoga biti ekonomski uspješno i opće prihvaćeno, naravno osim od onih koji tim reformskim procesima gube svoje interese (Hall i dr., 2005.).

Završno izvješće sa konferencije o vodama održane u Dublinu 1992. postavlja četiri temeljna principa vodoopskrbe, među kojima je bio i princip da se vodu treba promatrati kao „ekonomsko dobro”. Kako navode Gleick i dr. (2002.) ovaj je princip, bez sumnje, najvažniji i najkontroverzniji od svih. Bio je dovoljno nejasan da bi ga uspjeli prihvatiti svi sudionici konferencije, a ipak dovoljno radikalan da bi izazvao radikalno promišljanje pitanja upravljanja i planiranja vodama kao i općenite politike voda. U godinama nakon Dublina koncept vode kao ekonomskog dobra korišten je kako bi se propitali klasični pristupi javne vodoopskrbe. Dio se ekonomista poziva na tu ideju tvrdeći da se vodu treba smatrati privatnim dobrom, koje kao i ostala privatna dobra treba biti podvrgnuto korporativnoj kontroli, financijskim pravilima, tržišnim snagama i tržišnim cijenama. (Gleick i dr., 2002.)

U raspravi trebaju li sustavi vodoopskrbe i odvodnje biti javni, privatni ili u nekom od

javno - privatnih oblika, dosada su iznesena brojna mišljenja da je s obzirom na osnove karakteristike sustava vodoopskrbe i odvodnje jedan, drugi ili treći način opskrbe superioran u odnosu na druge (Budds i McGranahan, 2007.). Međutim, to inzistiranje na javno privatnoj dihotomiji može skrenuti pozornost s važnih uloga koje mogu igrati i razne organizacije civilnog društva, kao što mogu i spojeno promatrati vrlo različite agente kako unutar privatnog sektora, tako i unutar javnog sektora. Brojni su razlozi koji potiču vlade na razmatranje i primjenu politike privatizacije voda. Te se razloge može sažeti u pet kategorija (Gleick i dr., 2002.): socijalne (vjerovanje da privatizacija može zadovoljiti do tada nezadovoljene osnovne potrebe za vodom), komercijalne (vjerovanje da je veće oslanjanje na tržište bolje), financijske (vjerovanje da privatni sektor može prikupiti kapital brže i jeftinije nego javni), ideološki (vjerovanje da je „manja vlada" bolja vlada) i pragmatički (vjerovanje da konkurentski, učinkoviti sustavi vodoopskrbe zahtijevaju privatno sudjelovanje). Brojni su argumenti koji govore o tome da vodoopskrba treba ostati javna s jedne strane, a s druge strane isto su tako brojni i argumenti za privatizaciju vode. U nastavku teksta prikazani su argumenti u korist javnog sektora i u korist privatnog sektora onako kako ih opisuju Budds i McGranahan (2007.)[1]:

Javno dobro: Javno je dobro sa sljedećim karakteristikama: nerivalstvo - korištenje dobra od strane jedne osobe ne isključuje druge iz njegova korištenja; neisključivost - ako jedna osoba koristi dobro nije moguće drugima ograničiti njegovo korištenje; iz potrošnje se ne mogu isključiti oni koji nisu sudjelovali u proizvodnji dobra. Privatna poduzeća ne uspijevaju opskrbiti tržište takvim dobrima, jer jednom kada su ona proizvedena, stoje na raspolaganju svima i ne mogu se prodavati. Uvaženo je mišljenje da pošto se ta dobra ne mogu proizvesti od strane privatnog sektora, ista treba proizvoditi javni sektor. Sustavi javne vodoopskrbe i odvodnje nisu čista javna dobra, ali ona za sobom povlače velike javne koristi, prije svega kroz sprječavanje zaraza. Te javne koristi su dominantne kod sustava odvodnje. Ukoliko pojedinci ne tretiraju svoje otpadne vode i fekalije na primjeren način, štete osjete drugi pojedinci iz njihovog okruženja i stoga je, ako postoji sustav odvodnje, neekonomično iz njegova korištenja isključivati pojedince koji ga ne žele plaćati. Upravo stoga, da bi se osiguralo adekvatno pružanje usluga biti će nužno uvesti neku kombinaciju reguliranja, subvencioniranja ili obveznih naknada. Vodoopskrba nosi jasne privatne koristi za domaćinstva i vrlo ju je jednostavno naplaćivati na temelju potrošnje. Međutim ukoliko ljudi ne žele ili ne mogu kupiti dovoljno vode kako bi zaštitili svoje vlastito zdravlje i spriječili bolesti, tada je ugroženo i zdravlje drugih. Javne koristi vodoopskrbe postaju dakle značajne samo kada privatne koristi nisu dovoljno značajne da bi financirale odgovarajuću opskrbu, što je posebno značajno u područjima s niskim dohocima. Upravo stoga su razlozi za javnu vodoopskrbu utemeljeni na značajnoj javnoj koristi iz iste. (Budds i McGranahan, 2007.)

Prirodni monopol: U usporedbi s poduzećima koja djeluju u konkurentskom okružju monopoli teže podizanju cijena i smanjivanju količina čime ostvaruju ekstra profit. U većini slučajeva podizanje cijena i smanjivanje količina idu zajedno, jer se upravo smanjenjem proizvodnje povećavaju cijene. O prirodnim se monopolima govori kada su ukupni troškovi niži, ukoliko jedno poduzeće proizvodi cjelokupni „output" u odnosu da isti

1 U daljnjem opisu se ne navodi argument vode kao temeljnog ljudskog prava jer je isti prikazan u poglavlju 2. rada

„output“ proizvodi dva ili više poduzeća. Uobičajeno objašnjenje za nastanak prirodnih monopola je rastuća ekonomija razmjera, zbog koje je prosječni ukupni trošak niži što je veći proizvođač. Ekonomisti sugeriraju da bi prirodne monopole trebalo na neki način regulirati kako bi se spriječilo podizanje cijena, a upravo se to često koristi kao argument da bi se opravdalo javno vlasništvo nad istima. Mreže vodoopskrbe i odvodnje predstavljaju prirodni monopol. Više mreža koje bi se natjecale za iste kupce značile bi više troškova u odnosu na postojanje samoj jedne mreže. Prirodni ishod tržišne konkurencije stoga bi bila situacija u kojoj bi vlasnik jedne mreže kupio svoje konkurente i time sam postao monopolist. Za neke je mrežne usluge, kao primjerice telekomunikacije, dosta napravljeno u pokušajima razdvajanja sustava proizvodnje i distribucije i razvijanja regulatornog sustava koji promiče konkurenciju. Za sustave vodoopskrbe razdvajanje se pokazalo vrlo kompliciranim i općenito je ograničeno više na „konkurenciju za tržište” nego „konkurenciju unutar tržišta”. Uvažavanje činjenice u kojoj su mjeri sustavi vodoopskrbe i odvodnje prirodni monopoli ne bi trebalo biti pretjerano, jer već i ograničena konkurencija može biti značajna u sprječavanju zloupotrebe monopolske moći. U slučaju pravih prirodnih monopola, koncesijski ugovori ne bi trebali garantirati ekskluzivnost korisniku koncesije, ekskluzivnost bi se trebala pojaviti „prirodno”. Već se sredinom 19. stoljeća kao sredstvo izbjegavanja monopolskih cijena, bar u principu, koristilo natjecanje privatnih operatera za dobivanje prava opskrbe određenog tržišta za određeno vrijeme, koje bi dobivala privatna poduzeća koja bi ponudila opskrbu po najnižoj cijeni. (Budds i McGranahan, 2007.)

Ekonomsko dobro: Smatra se da bi se vrednovanje vode kao ekonomskog dobra kojeg bi trebale alocirati tržišne snage trebalo dovesti do učinkovitog korištenja istog. Ukoliko javni sektor opskrbljuje tržište nekim oskudnim dobrom besplatno (ili uz subvencionirane cijene), ljudi su skloni njihovoj pretjeranoj upotrebi. Ekonomisti tvrde da bi učinkovita opskrba dobrima trebala biti ona koja ista dobra naplaćuje sukladno njihovom graničnom trošku: trošku proizvodnje zadnje jedinice dobra. To je ujedno cijena za koju ekonomisti smatraju da će se i ostvariti na slobodnom konkurentskom tržištu. Tvrdnja da je voda ekonomsko dobro poslužila je kao opravdanje za pomak u tretiranju vode kao javne usluge ka dobru za koje korisnici trebaju platiti. Ovaj se argument često koristi i da bi se opravdala naplata punih troškova korištenja vode od strane krajnjih korisnika, jer se smatra da samo tako sustavi vodoopskrbe i odvodnje mogu biti ekonomski održivi. Politički, ovo može biti vrlo problematično jer korisnici s niskim dohotkom neće htjeti ili moći plaćati te potpune troškove. Nadalje vrlo je teško definirati pravu ekonomsku cijenu, pronaći ju i naplatiti ju, a naplata na temelju stvarnih troškova ignorira javne koristi koje nose sustavi vodoopskrbe i odvodnje. (Budds i McGranahan, 2007.)

Zakazivanje države: Kao argument za privatno pružanje usluga često se navodi i široko vjerovanje da su privatna poduzeća puno učinkovitija od državnih. U stvari tijekom ranih devedesetih godina, dok su privatna poduzeća u vodoopskrbi još uvijek bila rijetka (posebno u zemljama sa nižim i srednjim dohocima) smatralo se da će privatni sektor biti učinkovitiji zbog tržišnih poticaja koji bi trebali potaknuti privatne operatere da traže najveću moguću učinkovitost u cilju povećanja profita i smanjenja gubitaka zbog neučinkovitosti i kupaca koji ne plaćaju punu cijenu usluga. Zagovornici ovog gledišta vjeruju da će dobici na učinkovitosti biti toliki da će od toga korist izvući svi korisnici usluga, a među njima i siromašni, koji će na sustav biti spojeni kao platitelji usluga. Doduše, ovaj argument ignorira činjenicu da nije nužno da će svi učinkoviti privatni operateri ostvarivati profit. Nadalje, zagovaranje privatnog pružanja usluga potaknuto

je i činjenicom da su sustavi javne vodoopskrbe i odvodnje zakazali u opskrbi usluga i pružanju adekvatne kvalitete i pokrivenosti. (Budds i McGranahan, 2007.)

4. JAVNO PRIVATNO PARTNERSTVO U VODOOPSKRBI I ODVODNJI

Javno privatno partnerstvo se definira kao ugovorni odnos između javnog i privatnog sektora koji omogućuje sudjelovanje privatnog sektora u pružanju javnih usluga u višoj mjeri nego što je to tradicionalno bilo uobičajeno. Ugovorom se povjerava privatnom sektoru obnova, izgradnja, upotreba, održavanje i/ili upravljanje nekom javnom uslugom ili sustavom. Javno privatno partnerstvo je, dakle, partnerstvo između agencija javnog sektora i investitora iz privatnog sektora, a koje se sklapa u svrhu projektiranja, planiranja, financiranja, izgradnje, korištenja i/ili održavanja infrastrukturnih projekata, odnosno projekata koje su tradicionalno izvođeni kao projekti države i državnih agencija. Ključni je razlog formiranja ovakvih partnerstva činjenica da i privatni i javni sektor posjeduju određena znanja i vještine, koje im pružaju prednosti u izvođenju određenog djela projekta. Stoga su i najbolja partnerstva ona koja od obaju strana izvlače njihove najbolje snage i te njihove najbolje snage iskorištavaju u funkciji pružanja usluge koja je predmet partnerstva. Kada se govori o javno privatnom partnerstvu mora biti jasno da ono kao takvo nije rješenje za pružanje svih usluga te da postoje brojni rizici koji se javljaju ukoliko se ono primjenjuje bez kritičke analize njegove provodljivosti.

Naravno, država (ili lokalne vlasti) mogu izvući brojne koristi ukoliko se javno privatno partnerstvo koristi na primjeren način, a među koristima se mogu izdvojiti (Kwan, 1999.): **Smanjenje troškova:** S javno privatnim partnerstvom javni sektor može ostvariti uštedu troškova kako u izgradnji kapitalnih objekata tako i u njihovoj upotrebi i održavanju. **Podjela rizika:** Kroz javno privatno partnerstvo javni partner može podijeliti rizike sa privatnim partnerom. Rizici koji se dijele mogu biti probijanje troškova, neispunjavanje rokova, problemi s zagađenjem okoliša, kao i rizik da prihodi neće biti dovoljni da pokriju troškove izgradnje, korištenja i održavanja. **Poboljšani nivo usluga:** Javno privatna partnerstva mogu uvesti inovacije u načinu organizacije i pružanja usluga. Ona također mogu uvesti nove tehnologije, kao i dovesti do rastućih ekonomija razmjera koje smanjuju troškove i poboljšavaju kvalitetu i nivo usluga. **Povećavanje prihoda:** Javno privatna partnerstva mogu uvesti naknade korisnicima koje reflektiraju stvarne troškove isporuke usluga. Ona također nude mogućnost uvođenja inovativnijih izvora prihoda koji nisu mogući kod konvencionalnih metoda pružanja usluga. **Učinkovitija implementacija:** Povećanje učinkovitosti može se postići kombiniranjem različitih aktivnosti kao što su primjerice projektiranje i izgradnja, kao i kroz fleksibilnije ugovaranje i nabavu, brže odobravanje izvora financiranja i učinkovitije donošenje odluka. **Ekonomske koristi:** Veća uključenost javnog sektora u javno privatna partnerstva može doprinijeti u poticanju privatnog sektora i doprinijeti povećanju zaposlenosti i ekonomskom rastu.

Kao i sa konvencionalnim načinima pružanja usluge, uz ove potencijalne koristi javljaju se i rizici. Kao što navodi Kwan (1999.), javni sektor može smanjiti ili eliminirati te rizike prvenstveno razumijevajući što oni jesu i pozivajući se na njih kroz dobro pripremljene pregovore i sklopljene ugovore, kao i uključivanje svih zainteresiranih strana. Rizici javno privatnog partnerstva su (Kwan, 1999.): **Gubitak kontrole od strane javnog sektora:** Javno privatna partnerstva, po svojoj prirodi znače podjelu rizika, koristi i donošenja uloga među partnerima. **Povećanje troškova:** Javni sektor u velikom broju slučajeva, kod određivanja cijena za svoje usluge, ne vodi računa o svim troškovima pružanja istih.

Javno privatno partnerstvo zahtjeva cjenovnu politiku baziranu na stvarnim troškovima što može dovesti to povećanja cijena. **Politički rizici:** Neiskustvo javnog sektora i svih sudionika u procesu javno privatnog partnerstva može dovesti do povećanih političkih rizika. **Nepouzdana opskrba:** Privatni partneri mogu biti izloženi radnim sporovima, financijskim problemima ili drugim situacijama koje ih mogu spriječiti u izvršavanju svojih obveza. **Nemogućnost ostvarivanja koristi od konkurencije:** Natjecanje među privatnim partnerima za ostvarivanje prava javno privatnog partnerstva odnosi značajne koristi za zajednicu, međutim ako bi se za pravo natjecao samo mali broj privatnih partner (jer ih je za velike projekte teško pronaći), te koristi mogu izostati. **Smanjena kvaliteta i učinkovitost usluge:** Ukoliko ugovori nisu dobro napravljeni javno privatna partnerstva mogu rezultirati smanjenjem kvalitete, neučinkovitom isporukom ili nedostatnim održavanjem. **Pogreške u procesu izbora partnera:** Problem se javlja kod izbora partnera, jer je pitanje koji su najbolji kriteriji izbora (to ne mora biti najniža cijena). **Problem radne snage:** Čak i kroz kolektivne ugovore koji se primjenjuju u modelima javno privatnog partnerstva, uvijek se mogu pojaviti negativne reakcije sindikata i zaposlenika javnog sektora.

Oblici javno privatnog partnerstva doista su brojni i zasigurno je svaki zasebni ugovor o javno privatnom partnerstvu specifičan i jedinstven. Međutim, u cilju određene sistematizacije tih oblika vidljivo je da oni variraju u slijedećim kriterijima (Kwan, 1999.): raspodjeli rizika među stranama, stupnju uključenosti svake strane u pojedine faze i značenju za korisnike infrastrukture. Može zaključiti da su čimbenici koji su ključni u svrstavanja svakog ugovora o javno privatnom partnerstvu u određenu skupinu: projektiranje, izgradnja, korištenje, održavanje, financiranje i vlasništvo. Generalno gledano, sve modele javno privatnog partnerstva može se podijeliti u dvije osnovne skupine, prema modelu financiranja, odnosno načinu povrata sredstava privatnom sektoru (Marenjak, 2006): **koncesija** (koncesionar naplaćuje isporučene usluge od krajnjeg korisnika građevine) i **Private Finance Initiative** (privatni partner naplaćuje isporučene usluge od javnog sektora, a ne od krajnjeg korisnika građevine). Detaljna razrada modela javno privatnog partnerstva prikazana je tablicom 1.

VRSTA OBJEKTA	MODEL	OPIS
Postojeći objekt	Prodaja	Privatna tvrtka kupuje infrastrukturni objekt, upravlja njime i prikuplja korisničku naknadu
	Najam (Lease)	Vlada daje infrastrukturni objekt u najam privatnoj tvrtki, koja njime upravlja i prikuplja korisničku naknadu
	Upravljanje i Održavanje (O&M Ugovor)	Privatna tvrtka održava i upravlja infrastrukturnim objektom koji je u vlasništvu javnog sektora; vlada privatnoj tvrtki plaća naknadu
Postojeći objekt koji zahtijeva kapitalna ulaganja za proširenje ili obnovu	Unajmi-Izgradi-Upravljaj (LBO); Kupi-Izgradi-Upravljaj (BBO)	Privatna tvrtka unajmljuje ili kupuje infrastrukturni objekt od vlade, upravlja njime i proširi ga ili obnavlja, prikupljajući korisničku naknadu i plaćajući naknadu za koncesiju
	Wraparound addition	Privatna tvrtka proširuje infrastrukturni objekt koji je u vlasništvu vlade, u vlasništvu je samo proširenog dijela, ali upravlja cijelim infrastrukturnim objektom, prikupljajući naknadu
Izgradnja novog infrastrukturnog objekta	Izgradi-Prenesi- Upravljaj (BTO)	Privatna tvrtka financira i gradi novi infrastrukturni objekt, prenosi ga na javno vlasništvo i potom njime upravlja 20-40 godina, prikupljajući korisničku naknadu
	Izgradi-Posjeduj-Upravljaj-Prenesi (BOOT), poznat i kao Izgradi-Upravljaj-Prenesi (BOT)	Poput BTO-a, ali vlasništvo infrastrukturnog objekta se prenosi na javno vlasništvo nakon isteka koncesije
	Izgradi-Posjeduj-Upravljaj (BOO)	Privatna tvrtka financira, gradi, posjeduje i upravlja infrastrukturnim objektom, i prikuplja korisničku naknadu

Izvor: Savas (2000.) citirano prema Gukov (2007.)

Tablica 1. Modeli javno privatnog partnerstva

6. ANALIZA SLUČAJA: REKONSTRUKCIJA VODOCRPILIŠTA ČEPIN

Objekt vodocrpilišta Čepin obrađuje sirovu podzemnu vodu sa ciljem dobivanja vode za piće potrebne kvalitete. Međutim, postojeće vodocrpilište zbog dotrajalosti strojarsko-tehnološke opreme i zastarjelosti tehnološkog sustava nije u mogućnosti dati Pravilnikom zahtijevane izlazne parametre, te obrađena voda koja izlazi iz postrojenja nije za piće, već samo za tehnološke potrebe stanovništva. U cilju obrade podzemne vode iz postojećih zdenaca na vodocrpilištu Čepin, izgrađena je filtarska stanica za preradu sirove vode do kvalitete vode za piće. Zbog zastarjelosti postrojenja, ono uopće nije u mogućnosti obavljati svoju primarnu funkciju, te izlazna voda zadovoljava tek tehnološke potrebe stanovništva. Filtri su cilindrične čelične posude približnih gabarita Ř2500 x 3500 mm. Prema dostupnim podacima, filtarska ispuna nije mijenjana više od 15 godina. Filtarske su sapnice začepljene i prema ponašanju filtera u radu i ispiranju potpuno izvan funkcije, s vrlo reduciranim sadržajem filtarske ispune koja je s vremenom gotovo u potpunosti isprana iz posuda. Aktivni korozijski procesi su vrlo vidljiviji i rašireni. Vidljiva su velika područja prodora vlage iz filtarskih posuda na vanjsku stjenku i kapanje (osobito pri dnu posuda), pri čemu se neke od posuda stalno moraju „krpati“, što u ovim uvjetima uzrokuje znatne poteškoće pri održavanju funkcionalnosti postrojenja. Čelični cijevni razvod unutar strojarnice je u lošem stanju. Cijevi su površinski znatno korodirale, dok je stanje unutar cjevovoda u odnosu na inkrustracije puno lošije. Armatura strojarnice je kompletno na granici uporabljivosti. Vijek trajanja je prošao, te ju nije uputno koristiti u novom postrojenju.

Postojeća tehnologija ne može se osposobiti tako da daje pitku vodu sukladnu Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode. Preporučuje se kompletna nova tehnologija s bušenjem novih zdenaca. Vrijednost cjelokupne investicije procijenjena ne na 25 milijuna kuna, a kao jedan od modela provedbe iste razmatrao se i model javno privatnog partnerstva. Naime, općina Čepin nema dovoljne proračunske kapacitete za financiranje rekonstrukcije, a samo komunalno poduzeće nema organizacijske i kadrovske kapacitete za provedbu istog. Šira analiza koja je provedena prikazuje konkretne prednosti i nedostatke primjene javno privatnog partnerstva na ovom slučaju, kao i analizu alternativnih modela primjenjivih u slučaju, ali je zbog opsega rada ovdje izostavljena.

ZAKLJUČAK

Sustavi vodoopskrbe i odvodnje u Republici Hrvatskoj do sada u pravilu javno financirani. Međutim s obzirom na visoka ulaganja kao i sve veća proračunska ograničenja pitanje je koliko je navedeni model dugoročno održiv, te se stoga kao alternativan izvor financiranja nameće i javno privatno partnerstvo. Iako koncept javno privatnog partnerstva nije novost, tek od 80-tih godina prošlog stoljeća raste njegova primjena u projektima izgradnje javne infrastrukture u Europi. Navedeni model nosi brojne prednosti koje proizlaze prije svega iz smanjenja troškova i prenošenja djela rizika na privatni sektor, ali i potencijalne opasnosti prije svega zbog gubitka djela kontrole od strane javnog sektora. Širok spektar modela javno privatnog partnerstva primjenjiv je u svim aspektima infrastrukturnih projekata, pa tako i u vodoopskrbi, uz uvažavanje svih aspekata zaštite javnih interesa.

LITERATURA

[1] Budds, J.; McGranahan, G. (2007.): *Are the debates on water privatization missing the point? Experiences from Africa, Asia and Latin America, Environment and Urbanization*,15:87, dostupno na http://eau.sagepub.com/content/15/2/87.full.pdf

[2] Gleick, P.; Wolff, G.; Chalecki, E.; Reyes, R. (2002.): *The New Economy of Water: The Risks and Benefits of Globalization and Privatization of Fresh Water*, Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland, California, dostupno na http://www.pacinst.org/reports/new_economy_of_water/new_economy_of_water.pdf

[3] Gukov, R.: (2007): Javno privatno partnerstvo u vodoopskrbi, Hrvatske vode 15 (2007) 58, 3-16

[4] Hall, D.; Lobina, E; Motte, R. (2005.): *Public resistance to privatisation in water and energy,* Development in Practice, Volume 15, Numbers 3 & 4, dostupno na http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/APCITY/UNPAN022859.pdf

[5] Jenny Kwan, J. ed. (1999.): *Public Private Partnership: A Guide for Local Government*, Ministry of Municipal Affairs, British Columbia, dostupno na http://www.cscd.gov.bc.ca/lgd/policy_research/library/public_private_partnerships.pdf

[6] Marenjak, S. (2006): Prezentacija – Hrvatska udruga poslodavaca http://www.hup.hr/Download/2006/06/10/Prezentacija-JPP_u_RH-gosp.Marenjak.pdf

[7] Savas, E.S. (2000.): Privatization and Public-Private Partnerships; Seven Bridges Press, LLC, New York

[8] WHO (2002.): *25 Questions and answers on health and human rights*, Geneva,World Health Organization, dostupno na http://www.who.int/hhr/information

[9] WHO (2003.): *Right to water*, Geneva,World Health Organization, dostupno na http://www.who.int/hhr/information

AUTORI

dr. sc. Boris Crnković [a]
doc. dr. sc. Željko Požega [b]
Vedran Pejak, mag.oec. [c]

[a] Ekonomski fakultet u Osijeku, Gajev trg 7, 31000 Osijek, Hrvatska, e-mail: bcrnko@efos.hr; Općina Čepin, K. Zvonimira 105, 31431 Čepin, Hrvatska e-mail: boris.crnkovic@cepin.hr

[b] Ekonomski fakultet u Osijeku, Gajev trg 7, 31000 Osijek, Hrvatska, e-mail: pozega@efos.hr

[c] Ekonomski fakultet u Osijeku, Gajev trg 7, 31000 Osijek, Hrvatska, e-mail: pejak@efos.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.06.

PRIMJENA SIMULACIJE I OPTIMALIZACIJE U RADU URBANOG VODNOG SUSTAVA

Željko Rozić

SAŽETAK: U radu je prikazan način modeliranja i izrada modela urbanog vodnog sustava (UVS), te simulacija rada UVS kao i metodologija za poboljšanje rada i upravljanja UVS-om (optimalizacija). Primijenjena tehnika (alat) za provedbu sustavne analize, modeliranje, simulaciju i analizu dobivenih rezultata je objektno orijentirano modeliranje (OOM) i programski paket STELLA, koji je prilagođen složenim i dinamičkim sustavima, kakav je UVS. Temeljitom analizom UVS-a, koji se sastoji od strukturnih i ne-strukturnih elemenata, te njegovom konceptualizacijom, dobivena je osnova (koncept) izrade cjelovitog modela upravljanja UVS-om. Razvoj modela je išao od izgrađenog fizičkog modela UVS-a, koji se sastoji od modela količine vode i modela kakvoće vode u UVS-u, do složenog proširenog i nadograđenog modela s društveno ekonomskim sustavom, koji je temelj upravljačkog sustava, te zajedno s fizičkim sustavom čine cjeloviti model upravljanja UVS-om. Model UVS-a i predložena metodologija primijenjena je na UVS-u grada Mostara. Analizirano je sadašnje i buduće stanje UVS-a grada Mostara (za određeno vremensko razdoblje), te njegovo poboljšanje rada u smislu optimalnog funkcioniranja i održivog razvitka. Analizom osjetljivosti (kvantitativna i kvalitativna) određeni su ključni parametri kojima se može kvalitetno, brzo i efektivno upravljati poboljšanjem rada sustava, te učinkovito utjecati na tehničku, tehnološku, ekološku i društveno ekonomsku funkcionalnost i održivost sustava.

KLJUČNE RIJEČI: urbani vodni sustav, simulacija, optimalizacija, objektno orijentirano modeliranje, upravljanje

APPLYING SIMULATION AND OPTIMIZATION IN THE WORK OF URBAN WATER SYSTEM

SUMMARY: This paper presents the modeling and modeling of urban water systems (UWS), and simulations of UWS and methodologies to improve the operation and management of UWS-s (optimization). This technique (tool) for the implementation of a systematic analysis, modeling, simulation and analysis of the results is an object-oriented modeling (OOM) and STELLA software package that is tailored to the complex and dynamic systems, such as the UWS. UWS-depth analysis, which consists of structural and non-structural elements, and its conceptualization, the foundation received (the concept)

to establish an integrated management model UWS-s Development of the model is extended from the physical model built UWS, which consists of models of water and water quality model UWS-in, to complex extended and upgraded models with socio-economic system, which is the foundation of the management system, and together with the physical system form an integral management model UWS-om. Model UWS and the proposed methodology was applied to the UWS-Mostara. Analyzed in the city's current and future state of the UWS and the city of Mostar (for a specified time period), and its improvement in terms of optimal functioning and sustainable development. The analysis of sensitivity (quantitative and qualitative) are determined by key parameters that can be used well, quickly and effectively manage the improvement of the system, and effectively leverage the technical, technological, ecological and socio-economic viability and functionality of the system.

KEY WORDS urban water system, simulation, optimalization, object-oriented modeling, management

1. UVOD

Problem vodoopskrbe i sve veće potražnje zdrave, pitke vode je veoma ozbiljan i značajan te predstavlja već za sadašnje generacije, a posebice za buduće, ograničavajući čimbenik razvitka i opstanka čovječanstva uopće. U etapi nagle i suvremene urbanizacije još su izražajnije potrebe za vodom, jer su sve veće tendencije koncentracije stanovništva u velike gradove (velik broj gradova je preko milijun stanovnika, a uskoro i preko 10 milijuna stanovnika). Time se značajno povećava utjecaj urbanizacije i na elemente hidrološkog ciklusa vode, na vodne resurse i njihov režim, a time i na ostale elemente okoliša, odnosno urbanog ekosustava. Korištenjem velikih količina vode koje premašuju često i kapacitete lokalnih vodnih resursa mijenjaju se klimatske prilike i dolazi do promjene prirodnih odnosa hidrološkog ciklusa: padavine, otjecanja i isparavanja. Uz to se korištenjem vode povećavaju razni utjecaji na kakvoću vode, odnosno stvaraju se veće količine zagađene vode čime se mijenja (smanjuje) njena uporabna vrijednost i ugrožava cijeli urbani okoliš. Ako se k tome doda i niz ograničenja i drugih utjecaja koji su izravno povezani s urbanim vodnim sustavom (zakonski, tehnološki, ekonomski, financijski, kadrovski i drugi), onda se problem usložnjava i postaje zahtjevan u tolikoj mjeri da prelazi okvire postojećih modela upravljanja koji više nisu dovoljni i učinkoviti. Razvoj i upravljanje suvremenih gradova predstavlja glavni i najveći zadatak budućeg civilizacijskog napretka čovječanstva. Najznačajniji resurs razvoja i vitalni element gradskog života je **voda**, odnosno vodoopskrba koja je presudna za zdravlje i dobrobit ljudi, za urbani krajolik i okoliš općenito.

Urbana područja su složeni sustavi, koji zahtijevaju detaljniju analizu u smislu strukture i funkcionalne povezanosti pojedinih elemenata, kako unutar urbanog sustava, tako i njegove povezanosti s drugim vanjskim sustavima i okolišem. Cilj je osigurati dugoročne potrebe svih korisnika za vodom, ali i kvalitetnu zaštitu voda u smislu odvodnje i pročišćavanje otpadnih i oborinskih voda. Time je dobiven jedan funkcionalan integritet cijelog slivnog područja, koji je bitan segment cjelokupnog urbanog života (društva) i njegova održivog razvoja. Upravljanje takvim složenim urbanim vodnim sustavom (u daljem tekstu skraćeno UVS) je zahtjevan zadatak, koji podrazumijeva skup aktivnos-

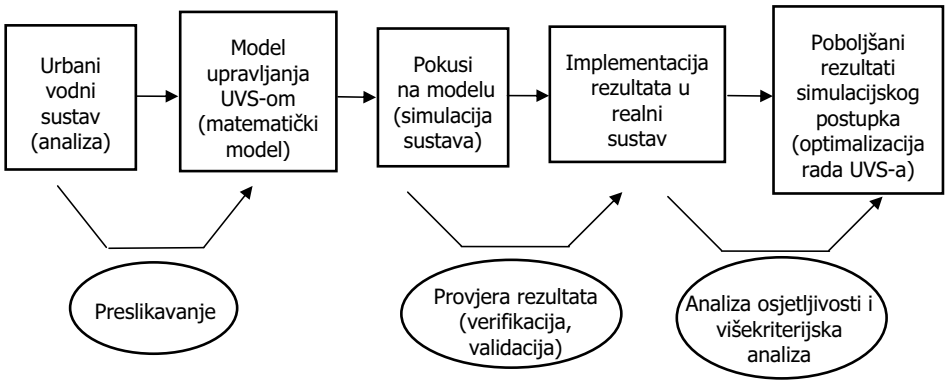
ti, odluka i mjera u svrhu poboljšanja rada sustava (optimalnog rada sustava), odnosno ostvarivanje jedinstva optimalnog vodnog režima na cijelom urbanom području. Stoga, postoji potreba za razvojem novih metodologija, tehnika i alata za upravljanje UVS-om, koji uzimaju u obzir **cjeloviti** rad urbanog vodnog ciklusa, njihovu unutarnju i vanjsku funkcionalnu povezanost s drugim sustavima. Time se analiza UVS-a s aspekta integralnog koncepta i održivog razvitka usložnjava, ali se s druge strane dobiva slika stvarnog stanja i realnijeg sustava, čime su i rezultati modeliranja pouzdaniji i precizniji. Izrada modela rada i upravljanja UVS-om, u smislu traženja novih alternativa za poboljšanje rada UVS-a je imperativ za očuvanje i razvoj urbanih područja općenito (održivih gradova), te zahtijeva ozbiljan znanstveno – istraživački rad. Primjena određene tehnike (alata), odnosno ***objektno orijentiranog modeliranja*** (u daljem tekstu skraćeno: OOM), upravo omogućuje izradu cjelovitog modela UVS-a, prilagođenog složenim holističkim zahtjevima i uvjetima. Pri tome se ne smiju zanemariti osnovna načela modeliranja, kao i osnovni fizički zakoni o održanju količine vode i tvari u vodi.

Predmet ovog rada je upravo izrada cjelovitog modela UVS-a primjenom OOM-a, te mogućnosti primjenjivosti modela za rješavanje problema upravljanja UVS-om. Cilj je iznaći optimalna rješenja i alternative za funkcionalan, pouzdan i održiv rad UVS-a. Polazeći od dosadašnjih istraživanja predložena je metodologija modeliranja i optimalizacije rada UVS-a, te izrađen novi model UVS-a. Model upravljanja UVS-om primijenjen je na UVS grada Mostara, te na ovom primjeru provjerena njegova valjanost i pouzdanost u smislu moguće primjene predložene metodologije i modela za optimalno i funkcionalno upravljanje UVS-om.

1.1. Urbani vodni sustav

Predmet istraživanja je UVS, te procesi unutar UVS-a kao i njegova funkcionalna povezanost (interakcija) s drugim unutarnjim i vanjskim sustavima. Analiza ključnih procesa, uključujući i socio-ekonomske odnose u društvu, osnova su za modeliranje UVS-a. UVS je osnovna vodna infrastruktura koja se sastoji od tri osnovna podsustava: vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda i odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda (Rozić i ostali, 2007). Ova infrastruktura se nalazi unutar prirodnog sustava, a prije svega vodnih resursa, te izgrađene i neizgrađene urbane sredine.

Koncept izrade modela sastoji se u definiranju sustava, njegovih elemenata, te funkcionalnih veza svih elemenata i utjecaja, uključujući sve čimbenike prirodnog, izgrađenog i upravljačkog dijela sustava i njegovog okruženja (Rozić, 2006). Osnovni pristup u modeliranju je cjelovito povezivanje svih elemenata UVS-a u jedan složeni model, kojim se oponaša realni (stvarni) UVS. Osnovni koraci istraživačkog rada prikazani su na slici 1. Izrada modela je preduvjet za dalji tijek istraživačkog rada i ostvarenje ciljeva istraživanja. Model se potom primjenjuje na jedan realni UVS, radi analize valjanosti i pouzdanosti, a sve kako bi se izradila strategija za održivo upravljanje UVS-om.



Slika 1. Osnovni koraci simulacijskog i optimalizacijskog procesa (Rozić, 2009)

2. TEORIJSKE OSNOVE MODELIRANJA UVS-a

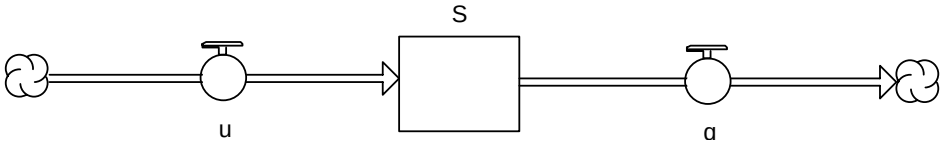
Izrada modela rada UVS-a je postupak preslikavanja ili oponašanja realnog sustava. Točnost i pouzdanost oponašanja realnog sustava ovisi prije svega o kvaliteti ulaznih veličina, te dobroj procjeni rubnih uvjeta, parametara i ograničenja. Primjenom pogodnog alata za provedbu sustavne analize, kakav je OOM, moguće je izraditi kvalitetan simulacijski model, analizirati dobivene rezultate, te provesti analizu osjetljivosti pojedinih parametara u cilju traženja optimalnih rješenja za upravljanje UVS-om.

Izrada matematičkog modela oponašanja realnog složenog sustava podrazumijeva poznavanje prije svega teorijske osnove modeliranja zasnovane na principima integralnosti i održivosti sustava. Glavni je zadatak u postupku modeliranja UVS-a izrada osnovnih *bilančnih jednadžbi* temeljem zakona o održanju količine vode i tvari sadržanih u vodi, kojima se opisuju procesi, stanja i promjene količine i kakvoće vode UVS-a, te utjecaj na okoliš (Margeta, 1992)

Osnovni alat koji se koristi za modeliranje je OOM (Mornar i Vanjak, 2002). Temeljni građevni element objektno orijentiranog modela je *petlja povratne sprege*, koja definira i opisuje proces bilanciranja (količina vode i tvari) ili bilo koje druge varijable stanja koja određuje stanje u sustavu, odnosno promjenu stanja u određenom vremenskom razdoblju. Stoga se proces bilanciranja u domenu objektnog modela definira kao diferencijalna jednadžba prvog reda, odnosno može se napisati (Kurtanjek, 1998):

$$\frac{d}{dt} S(t)=u(t)-q(t) \tag{1}$$

gdje se s u(t), q(t) i S(t) definirane varijable ulaza, izlaza i promjene stanja na određenoj razini, definiranih preko varijabli stanja u sustavu (slika 2).



Slika 2. Shema izrade bilance u objektno orijentiranom modelu (petlja povratne sprege) (Simonović, 1997)

Time se problem modeliranja UVS-a svodi na izradu određenih petlji povratne sprege kojima se simuliraju procesi u sustavu (bilančne jednadžbe). Svi građevni elementi objektnog modela, koji su ujedno i elementi nekog realnog sustava, koji se modelom oponaša, funkcionalno su povezivani u jedan složeni uzročno – posljedični interakcijski dinamički sustav (model). Skup svih objekata (elemenata) i njihovih međusobnih veza, kao i veza s vanjskim okruženjem, čine glavnu strukturu modela, kojim se prenosi tijek informacije na sve elemente modela (istovremeno) i dobivaju veličine bilo koje varijable stanja za određeno vremensko razdoblje. Promjena ili poboljšanje izlaznih rezultata pojedinih varijabla stanja, upravo je i glavni zadatak simulacijskog postupka (optimalizacija), koja se postiže promjenom veličine utjecaja određenih ključnih parametara u modelu (analiza osjetljivosti).

2.1. Razvoj modela UVS-a

Polazište izrade modela upravljanja UVS-a je analiza komponenti sustava počevši od operativne (fizičke) razine preko upravljačke do strateške razine i obratno (slika 3). Zatim, treba uspostaviti informacijski sustav, koji se sastoji od niza elemenata (objekata) povezanih određenim matematičkim jednadžbama, definiranih preko određenih početnih i rubnih uvjeta, ograničenja i utjecajnih parametara.

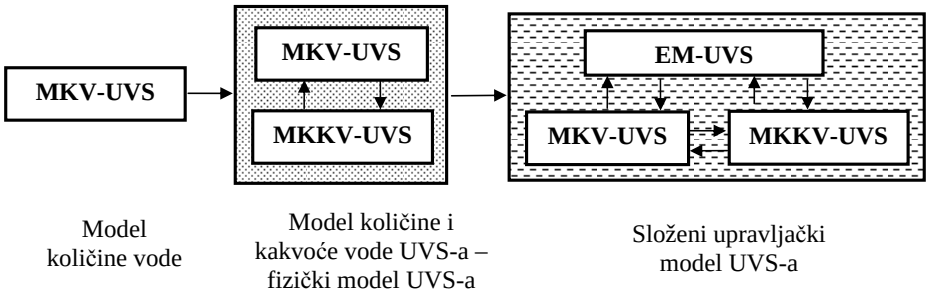
Slika 3. Opći koncept integralnog upravljanja urbanim vodnim sustavom (Rozić, 2006)

Sustav se modelira u dvije razine ili dva koraka. Prvo se izrađuje najjednostavniji ali temeljni ***fizički model količine vode*** UVS-a, kojim se simulira stanje i promjene količine vode u sustavu. Model se sastoji od količine vode vodoopskrbnog sustava (vode koje ulaze u grad, razvode se i koriste), zatim sustava prikupljanja (kanalizacije), kojim se voda odvodi kao upotrijebljena otpadna voda do uređaja za pročišćavanje, pročišćava se, a zatim ispušta u prijemnik.

Potom se izrađuje *model kakvoće vode*, koji se nadograđuje na model količine vode, čime se dobiva komponenta koja opisuje stanje i promjenu kakvoće vode. Kombinacijom ova dva modela dobije se jedinstveni model režima vode (količina i kakvoća vode) UVS-a.

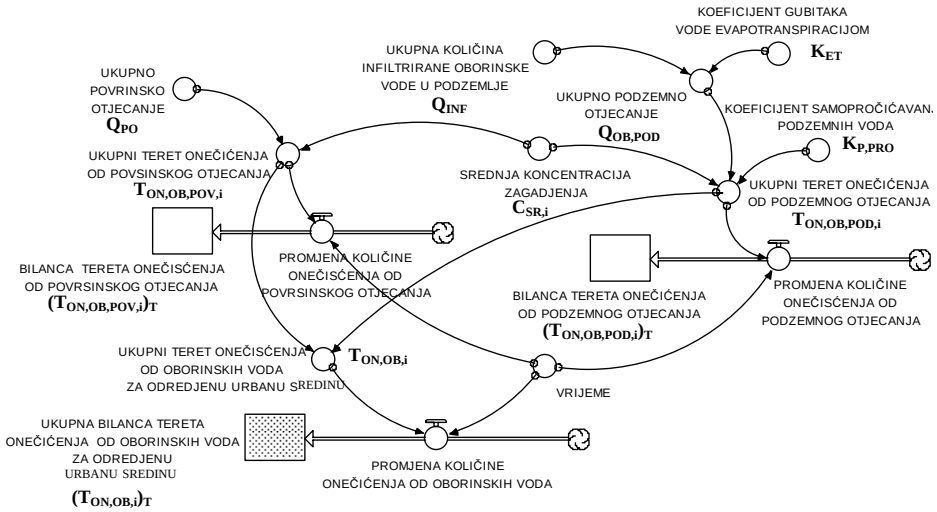
U drugom se koraku proširuje model količine i kakvoće vode s ekonomskim i upravljačkim čimbenicima. Na taj se način dobije cjeloviti model za upravljanje i analizu rada urbanog vodnog sustava koji sadržava sve infrastrukturne elemente sustava (konfiguraciju). Model opisuje glavne promjene količina i kakvoće voda u sustavu, te društveno ekonomske i upravljačke procese koji utječu na održivost UVS-a. To je *upravljački model* koji može biti više ili manje složen shodno potrebama i značajkama sustava. Izgrađeni model primijenit će se za analizu UVS-a grada Mostara u svrhu optimalnog upravljanja, odnosno optimalizacije rada UVS-a.

Može se zaključiti da je načelo izrade i razvoj modela vezan za procese sustavne i postupne nadogradnje i proširenje modela od jednostavnog ka složenom stanju. To se postiže upravo odabirom prikladnog alata, koji omogućava na jednostavan i fleksibilan način dodavanje novih objekata (elemenata), koji se funkcionalno povezuju na postojeći prethodni model (slika 4).



Slika 4. Razvoj modela UVS-a od jednostavnog do složenog oblika (Rozić, 2009)

Zbog preglednosti i ograničenosti prostora, na slici 5. dan je izdvojen ***samo dio*** dobivenog složenog upravljačkog modela UVS-a, koji se sastoji od niza složenih petlji, elemenata i operatora, uvezan u jedan jedinstveni uzročno posljedični model. U ovom slučaju odabrana je, primjerice, shema gradnje modela za ukupnu bilancu tereta onečišćenja od oborinskih voda za određenu urbanu sredinu. Jednostavnost, a ujedno i fleksibilnost gradnje modela je upravo glavni razlog primjene OOM-a, kao prilagođenog alata za gradnju složenih i zahtjevnih sustava. Svi parametri u modelu su funkcionalno povezani i predstavljaju veći ili manji utjecaj na bilo koji drugi element u sustavu, koji želimo analizirati odnosno optimalizirati.



Slika 5. Shematski prikaz ukupne bilance tereta onečišćenja od oborinskih voda određene urbane sredine - izdvojeni segment ukupnog upravljačkog modela

3. PRIMJER

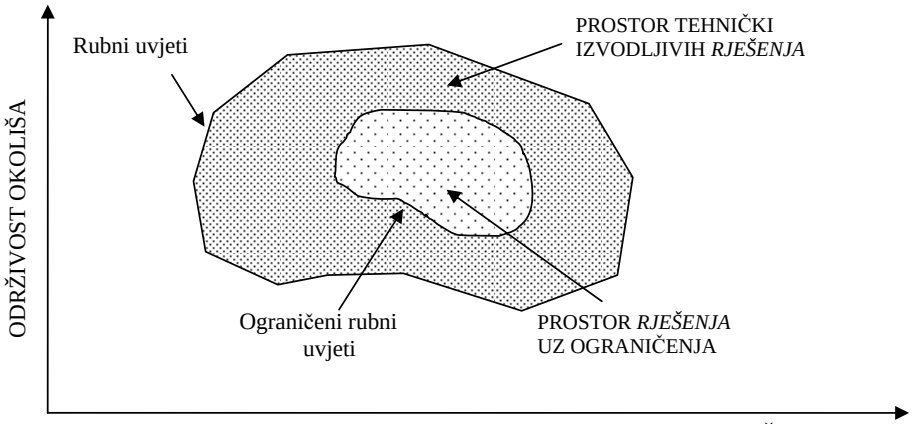
3.1. Uvod

Cilj je razvoj i primjena metodologije i alata u planiranju i upravljanju vodnim sustavima u urbanim područjima, koje trebaju obuhvatiti sve tehničke, ekološke, društvene i ekonomske čimbenike i **izrada modela** upravljanja UVS-om kojim se opisuju procesi, stanja i promjene stanja količine i kakvoće vode UVS-a. Primarni cilj rada je razvoj alata za **optimalno** upravljanje, kojim će se moći ispuniti osnovne funkcije UVS-a:

- zadovoljenje svih potreba za vodom,
- odvodnjom oborinskih i otpadnih voda,
- pročišćavanjem svih otpadnih voda i
- ispuštanje pročišćenih voda u prijemnik.

Sve navedene primarne funkcije UVS-a, odnosno skup rješenja primarnih funkcija uz odgovarajuća ograničenja i rubne uvjete, može se koncepcijski prikazati kao na slici 6, gdje je općenito definiran i optimalizacijski model upravljanja UVS-om. Optimizirati upravljanje UVS-om znači zadovoljiti sve primarne funkcije UVS-a u uvjetima određenih društveno – ekonomskih odnosa uz osiguranje zdravog, kvalitetnog i održivog okoliša i minimalnih troškova rada sustava. Odnosno, optimalno (održivo) upravljati urbanim vodama podrazumijeva težnju za uravnoteženjem odnosa u vremenskim i prostornim dimenzijama između raspoložive količine i kakvoće vode i potražnje (potreba) vode različitih korisnika, zatim za zdravlje ljudi, te za vodni ekosustav uz ostvarenje društveno – ekonomske dobrobiti (Gereš, 2002). Iz ove glavne funkcije cilja slijedi niz podciljeva čime se problem raščlanjuje na niz višeciljnih funkcija (Margeta i ostali, 1999):

- osiguranje određene količine i kakvoće vode za zadovoljenje ljudskih i gospodarskih potreba,
- zaštita i očuvanje okoliša,
- smanjenje i ograničenje prirodnih nepogoda (suše i poplave) ...



Slika 6. Konceptualizacija UVS-a (Gereš, 2002)

Ostvarenje svih ovih ciljnih funkcija moguće je uvažavanjem niza ***načela*** koji se primjenjuju za slučaj održivog i funkcionalnog upravljanja UVS-om (Margeta, 1999):

- princip visoke zaštite, predostrožnost i preventivne akcije,
- princip sprječavanja šteta u nastajanju,
- princip ''korisnik plaća'',
- princip ''onečišćivač plaća'',
- ***princip korištenja znanstvenih i stručnih podataka, metoda i alata,***
- princip ekonomske analize (trošak/dobit),
- princip međunarodne suradnje ...

Prema tome, cilj ovog istraživanja je u kontekstu prethodnog načela - korištenje znanstvenih pristupa i metoda za izradu modela i metodologije za optimalno upravljanje UVS-om, koja u matematičkom pogledu podrazumijeva zadovoljenje niza ciljnih funkcija (funkcije *MAX* ili *MIN*) uz određena ograničenja i rubne uvjete. Time se primjenom OOM-a i upravljačkog modela može, pored simulacije rada i upravljanja UVS-om, vršiti i *optimalizacija* rada UVS-a u cilju njegovog poboljšanja rada i održivog upravljanja sustavom i njegovim razvojem (Rozić, 2009).

Odabrani primjer primjene modela je *grad Mostar*, odnosno njegova urbana zona, gdje je prezentira primjena modela i metodologije za održivo upravljanje gradovima u smislu simulacije i optimalizacije rada UVS-a. Potrebno je istaknuti da se primjenom modela i predložene metodologije na UVS grada Mostara ne rješava problem vodnog sustava tog grada već je predložena metodologija i model samo moguća varijanta rješavanja problema održivog upravljanja UVS-a u gradovima općenito. Drugim riječima ovaj primjer

poslužit će za:

1. Primjenu izgrađenog modela i predložene metodologije na jedan konkretan primjer, *oponašanje* realnog sustava;
2. Analizu značajki modela i metodologije za primjenu *upravljanja* UVS-om određenog konkretnog primjera, uz mogućnost analize svih dobivenih rezultata simulacijskog i optimalizacijskog postupka;
3. Utvrđivanje *korisnosti* modela i metodologije za optimalno upravljanje UVS-om.

Temeljem prethodnog, mogu se utvrditi primarni ciljevi primjene modela na UVS grada Mostara, a to su:

Prvi cilj: Pokazati de se izgrađenim modelom može **upravljati** UVS-om u smislu analize postojećeg stanja i predviđanja budućeg stanje UVS-a za određeno vremensko razdoblje (**planiranje**);

Drugi cilj: Pokazati i utvrditi kako se korištenjem modela i predložene metodologije može poboljšati rad sustava, odnosno **optimalno** upravljati UVS-om i njegovim razvojem (održivo upravljanje sustavom).

3.2. Metodologija analize

Metodologija analize svih dobivenih rezultata vezana je za metodologiju istraživanja i temelji se na principima sustavnog postupka vrednovanja pojedinih alternativa dobivenih simulacijskim postupkom. Odabrano vremensko razdoblje za koje se analizira stanje UVS-a je 15 godina. Svi rezultati simulacijskog procesa prikazani su u grafičkoj formi (grafikoni). Na grafikonu je uočljiv trend rasta ili opadanja ili pak nepromjenjivosti pojedinih varijabla stanja (funkcija), odnosno prikazano je stanje pojedinih parametara za sadašnje stanje i njihovu procjenu za buduće planirano vremensko razdoblje. Time se, primjerice, izravno ukazuje na probleme povećane potrošnje, povećanog zagađenja otpadnih ili oborinskih voda, prijemnika ili bilo kojeg drugog parametara čime se također ujedno daju smjernice daljeg djelovanja u smislu poboljšanja rada sustava. Usporedbom sadašnjeg stanja i stanja u određenom vremenskom trenutku, uvažavajući sve utjecajne elemente, može se utjecati na tok simulacijskog procesa na način da se poveća ili smanji utjecaj (veličina) pojedinih parametara koji izravno ili neizravno utječu na analiziranu varijablu stanja.

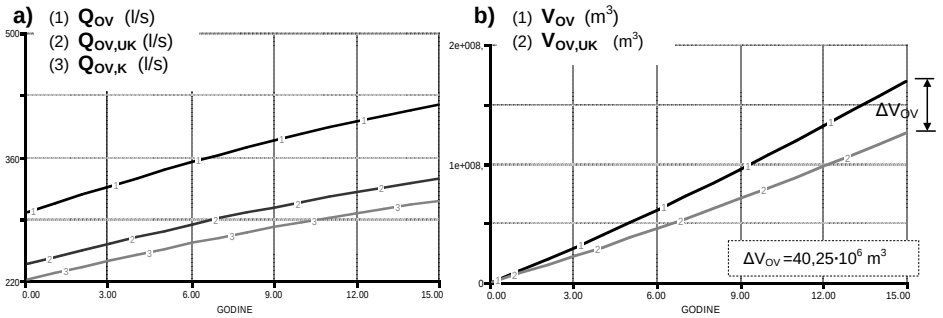
Analize se sastoje iz tri faze (koraka):

1. ***Analiza I*** – simulacija rada sadašnjeg stanja UVS-a primjenom fizičkog modela označenog kao FM-UVS-MOSTAR i procjena stanja za odabrano plansko razdoblje, te prezentiranje i analiza dobivenih rezultata (grafikoni određenih varijabli stanja);
2. ***Analiza II*** – simulacija rada budućeg, planiranog stanja UVS-a primjenom modela MU-UVS-MOSTAR s unapređenjem rada UVS-a (optimalizacija) u smislu smanjenja gubitaka (sanacija i poboljšanje održavanja sustava), smanjenje potrošnje vode (štednja vode), povećanje priključenosti na vodovodni i kanalizacijski sustav, te izgradnja novih objekata i uređaja za poboljšanje kvalitete kanalizacijske mreže i vode koja se ispušta u prijemnik (pretpostavljeni trend tehničkog i tehnološkog unapređenja i poboljšanja sustava, kao u zemljama u razvoju).
3. ***Analiza III*** – optimalizacija UVS-a primjenom upravljačkog modela MU-UVS-MOSTAR, te prezentiranje i analiza dobivenih rezultata za slučaj povećanja utjecaja jed-

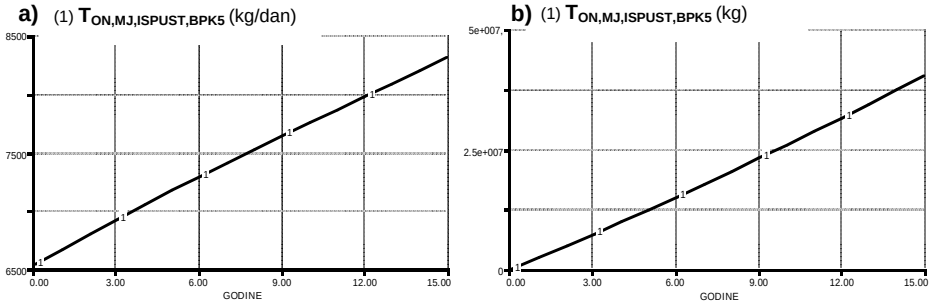
nog ključnog ekonomskog parametara (cijene vode).

3.3. Rezultati analiza

Na slikama 7. i 8. dani su samo dio izlaznih rezultata u obliku grafikona, gdje se vidi stanje (primjerice u ovom slučaju) samo sanitarnih otpadnih voda te količina i bilanca tereta onečišćenja BPK_5 , za stanje u UVS-u grada Mostara kakva je trenutna situacija (Analiza I)

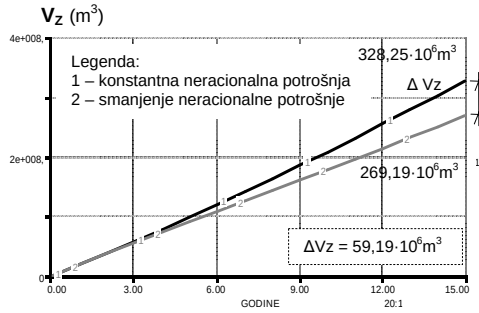


Slika 7. Grafikoni sanitarnih otpadnih voda: (a) ukupnih količina (1) nastalih, (2) ulaznih u kanalizacijski sustav, (3) izlaznih iz kanalizacijskog sustava (l/s); (b) ukupne bilance otpadnih voda: (1) nastalih, (2) u kanalizacijskom sustavu (m3)

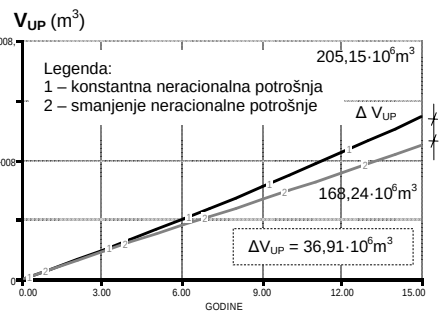


Slika 8. Grafikoni tereta onečišćenja BPK5 kontrolirano ispuštenog u prijemnik bez pročišćavanja (mješoviti tip): (a) ukupna količina tereta TON,MJ,ISPUST,BPK5 (kg/dan); (b) ukupna bilanca tereta BPK_5 $(\boldsymbol{T}_{ON,MJ,ISPUST,BPK5})_T$ (kg)

Slike 9. i 10. prikazuju grafikone ukupne bilance vodozahvata i potrošnje vode za određeno plansko razdoblje uslijed smanjenja, primjerice, stope neracionalne potrošnje (analiza II).



Slika 9. Grafikon ukupne bilance vodozahvata $(Vz)_T$ (m^3)



Slika 10. Grafikon ukupne bilance potrošnje vode $(V_{UP})_T$ (m^3)

Analiza III daje rezultate poboljšanja izlaznih parametara uslijed određenih promjena određenih ekonomskih parametara, u ovom slučaju to je povećanje cijene vode, koje direktno i indirektno utječe na pozitivne utjecaje pojedinih izlaznih rezultata.

U cilju usporedbe svih dobivenih rezultata analize, kao zaključak provedenih analiza (simulacije i optimalizacije) prikazana je zajednička tablica na kojoj su dani rezultati analize II i III za svaki parametar, te njegov utjecaj na odabranu ciljnu funkciju. Prikaz utjecaja je sljedeći: pozitivno djelovanje (utjecaj) na postavljene ciljne funkcije - oznaka (+), negativan utjecaj na postavljene ciljne funkcije - oznaka (-) ili nema utjecaja - oznaka (o) (tablici 1.).

Funkcije cilja	Minimalna količina ukupnog vodozahvata vode – potražnja vode (VZ)T →MIN	Minimalna količina potrošnje vode (VPOT)T →MIN	Minimalna količina gubitaka u vodoopskrbom sustavu (VGUB)T →MIN	Maksimalna količina kontroliranog ispusta otpadnih voda (VOV,KON)T →MAX	Maksimalna količina tereta uklonjenog na uređaju (TON,UKL)T →MAX	Minimalna količina ispuštene nekontrolirane otpadne vode (VOV,NEK,)T →MIN	Minimalna količina ispuštenog tereta u prijemnik (TON,ISPUST)T →MIN	Minimalni troškovi, odnosno maksimalna dobit firme (DNAP,FIRME)T→MAX
Parametri								
a) Cijena vode	+	+	+	+	o	+	o	+
b) Stopa gubitaka vodoopskrbnog i kanalizacijskog sustava	o	o	+	+	o	+	+	+
c) Koeficijent priključenosti na vodovodni i kanalizacijski sustav	-	-	-	+	+	+	+	+
d) Stopa neracionalne potrošnje	+	+	+	o	o	o	o	+
e) Stopa pročišćavanja otpadnih voda	o	o	o	o	+	o	+	o

+ pozitivan utjecaj, **-** negativan utjecaj, **o** bez utjecaja

Tablica 1. Rezultati analize utjecaja parametara na odabrane funkcije cilja

ZAKLJUČAK

U radu su dane samo glavne smjernice, principi i postavke istraživačkog rada vezane za mogućnost primjene modela UVS-a i metodologije za optimalno upravljanje UVS-om. Osnova istraživanja je izrada modela te *simulacija i optimalizacija* rada UVS-a primjenom OOM-a i upravljačkog modela *MU-UVS*. Model i metodologija su testirani na UVS-u grada Mostara. Naravno, primjenjivost modela je moguća na sve vodne sustave i urbane sredine, koji imaju opću strukturu i koncept funkcioniranja, kakav je opisan u prethodnim poglavljima. Napomena: zbog ograničenosti teksta i broja stranica u radu nije prikazan model kao ni primjena modela i rezultati analize)

Izradom modela, simulacijom, analizom i vrednovanjem svih alternativa (optimalizacijom) u opisanom sustavnom postupku i metodologijom kako je prikazano u ovom radu, dobiveni su određeni rezultati istraživanja i *nova* saznanja vezana za kvalitetno i učinkovito poboljšanje rada UVS-a. Temeljem tih rezultata može se zaključiti (Rozić, 2009):

- Upravljanje UVS-om je zahtjevan, složen i težak zadatak, jer pored tehničke, tehnološke, ekološke i ekonomske održivosti ''upravljanje'' podrazumijeva i održivost razvoja UVS-a, kao i urbane sredine i društva u cjelini (Grigg, 1997);
- Sustavnim pristupom problemu, uz primjenu odgovarajuće tehnike modeliranja moguće je analizirati *cjeloviti* sustav, *planirati* budući rad sustava, ali i unaprijediti (poboljšati) rad i održivost UVS-a;
- Izrađeni *modeli* (*FM-UVS* i *MU-UVS*) i ponuđena *metodologija* za optimalno upravljanje primjenom OOM-a je uspješno primijenjena na UVS-u grada Mostara i pokazala je dobre rezultate u smislu korištenja za poboljšanje rada UVS-a;
- Primijenjenom *metodologijom* utvrđeno je:
  - sadašnje stanje UVS-a,
  - što će se dogoditi ako se nastavi ovakav trend stanja UVS-a,
  - kako poboljšati vodni sustav grada (unaprijediti rad sustava),
  - koji su to tehnički i tehnološki parametri koji su bitni za poboljšanje rada sustava,
  - kako ekonomski sustav utječe na rad UVS-a i koji su to ključni ekonomski parametri za upravljanje sustavom;
- Korištenje *OOM-a* se pokazalo vrlo uspješno i korisno u provedbi sustavne analize, modeliranja i analizi dobivenih rezultata, odnosno pokazana je mogućnost njegove primjene i za optimalizaciju rada UVS-a;
- OOM je dobar alat za složene dinamičke sustave koji *omogućava*:
  - simulaciju na istoj razini složenosti i funkcionalnosti fizikalnih, društveno-ekonomskih i upravljačkih značajki, te njihovo povezivanje u jedan integralan upravljački sustav (Rozić, 2006);
  - jednostavnost pristupa i razumijevanje kod izrade *cjelovitog* (integralnog) modela upravljanja,
  - detaljne analize svih pojedinačnih elemenata sustava i odgovarajućih parametara i proračun njihovog utjecaja na druge elemente, kao i na cijeli sustav općenito,

  - laku i jednostavnu *transformaciju* sustava i prilagodbu drugim uvjetima i stanjima sustava, što može biti okvir za rješavanje sličnih problema,
  - mogućnost planiranja i prognoze vezane za sve komponente urbanog vodnog sustava za određeno vremensko razdoblje, kako je i prezentirano u radu, itd;
- Izrada modela primjenom OOM-a i programskog paketa *STELLA*, potvrđene su *pretpostavke* vezane za metodologiju primjene modela i optimalizaciju rada sustava;
- Dobiveni *modeli* su fleksibilni, dinamični i lako se prilagođavaju stvarnim (realnim) stanjem i procesima u sustavu (Forrester, 1971);
- Korištenje modela, OOM-a i predložene metodologije može pomoći kod iznalaženja optimalne *strategije razvoja* UVS-a u kontekstu integralnog sagledavanja rada i funkcioniranja vodnih sustava šire regije, države…;

Zbog toga bi se ovakav alat, model i metodologija *trebala primijeniti* za rješavanje problema upravljanja UVS-a i općenito funkcioniranje složene dinamičke strukture gradova, a posebno onih problema vezanih za socio-ekonomske čimbenike, s čime su suočene sve zemlje u razvoju, kakva je i BiH.

LITERATURA

[1] Forrester, W, (1971): *Urban Dynamics*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 220.

[2] Gereš, D, (2002): *Upravljanje urbanim vodnim sustavom*, *Zbornik radova Hrvatskog hidrološkog društva*, Zagreb, 211.

[3] Grigg, N, (1997): *Systemic Analysis of Urban Water Supply and Growth Menagement*, ASCE, Journal of Urban Planning and Development, 123(2): 23–33.

[4] Kurtanjek, Ž, (2000): *Matematičko modeliranje i vođenje industrijskih procesa*, *Knjiga*, *Bilten Razreda tehničkih znanosti HAZU*. 3 (2000), 1; 25-29 (članak, znanstveni).

[5] Margeta, J, Azzopardi, E i Iacovides, I, (1999): *SMJERNICE za integralni pristup razvoju, gospodarenju i korištenju vodnih resursa,* Knjiga*,* UNEP MAP/PAP, Split, 154.

[6] Margeta, J, (1999): *Integralno gospodarenje vodama - preduvjet razvoja vodnih bogastava*, Savjetovanje, Neum,

[7] Margeta, J, (1992): *Osnove gospodarenja vodama*, Knjiga, Građevinski fakultet, Split, 229.

[8] Mornar, V i Vanjak Z, (2002): *Objektno orijentirano programiranje*, Predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva, Zagreb.

[9] Rozić, Ž., Margeta, J., Knezić, S., (2007): *Modeliranje UVS-a*, *Građevinar 59*, Zagreb, 93-102.

[10] Rozić, Ž, (2009): *Optimalizacija rada urbanog vodnog sustava*, Doktorska disertacija, Mostar, Građevinski fakultet, 24.02. 2009, 255 str. Voditelj: Margeta, Jure.

[11] Rozić, Ž., (2006): *Upravljanje UVS-om primjenom OOM-a*, magistarski rad. Split : Građevinsko -arhitektonski fakultet, 15. 03. 2006., 181 str. Voditelj: Margeta, Jure ; Knezić, Snježana.

[12] Simonović, S, (1997): *The use of Object – Oriented Programming for Water Resources Planning in Egipt*, Water Resources Management, Kluwer, Aug., Volume 11, Number 4, 243-261,

AUTOR

doc.dr.sc. Željko Rozić

Građevinski Fakultet Sveučilišta u Mostaru, Matice hrvatske bb, Mostar, 88000, BiH, *zeljko.rozic@tel.net.ba*

R 4.07.

TEHNIČKA PRAVILA NJEMAČKOG STRUČNOG UDRUŽENJA ZA PLIN I VODU DVGW

Aida Bučo-Smajić, Branka Beović

SAŽETAK: DVGW je najstarije tehničko udruženje za plin i vodu na svijetu. U skladu sa statutom pruža potporu plinskom i vodnom gospodarstvu u tehničkom i tehničko-znanstvenom pogledu. Svoje aktivnosti bazira na aktualnim zahtjevima članova i ciljevima postavljenim u statutu. Posebna se pozornost posvećuje sigurnosti, zaštiti okoliša i higijeni. Praktičan rad u plinskom i vodnom gospodarstvu baziran je na tehničkim pravilima DVGW-a. Regulativa DVGW-a je kao "priznata pravila tehnike" navedena u Zakonu o energetskoj privredi i Uredbama o vodi za piće. DVGW usko surađuje s Njemačkim institutom za normizaciju DIN i sudjeluje u kreiranju europske regulative. DVGW podržava zemlje istočne i srednje Europe u procesu usuglašavanja sistema s europskom regulativom.

KLJUČNE RIJEČI: DVGW, udruženje, tehnička pravila, voda za piće, plin, suradnja

TECHNICAL RULES OF DVGW GERMAN TECHNICAL AND SCIENTIFIC ASSOCIATION FOR GAS AND WATER

SUMMARY: DVGW is the oldest technical and scientific gas and water association in the world. It is the central mission of the DVGW to advance the gas and water industry in both the technical and technical-scientific context. DVGW bases its activities on the current requirements of its members, and on the objectives declared in the statutes, i.e. safety, hygiene, and environmental protection. The practical work in the gas and water branch is based on the technical rules of the DVGW. As acknowledged rules for technical matters the regulation of the DVGW is documented in the law for energy economy and the decree for drinking-water. DVGW closely co-operate with DIN Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardisation) and is able to influence the creation of European regulations. DVGW supports Eastern and Central European countries within the process of adjustment to the European regulation system.

KEYWORD: DVGW, association, technical rules, drinking water, gas, cooperation

1. UVOD

DVGW je najstarije tehničko udruženje za plin i vodu na svijetu. Ujedno je i najveće europsko stručno udruženje. DVGW već više od 150 godina kreira norme za sigurnost i kvalitetu u plinskom i vodnom gospodarstvu.

Osnovna područja rada su:

- regulativa i normizacija
  DVGW izrađuje priznata pravila tehnike za plinsko i vodno gospodarstvo.
- ispitivanje i certificiranje
  DVGW vrši ispitivanje, certificiranje i nadzor proizvoda za plin i vodu, stručnjaka, poduzeća i sustava upravljanja kvalitetom.
- istraživanje i razvoj
  DVGW inicira i podržava inovativna i za praksu relevantna istraživanja.
- stručno školovanje
  U okviru aktivnosti informiranja i školovanja DVGW pokriva kompletan spektar tema za plin i vodu.
- komunikacija, organiziranje stručnih skupova i kongresa.

Sva područja rada DVGW su međusobno povezana, što rezultira rješenjima koja su bliska praksi i orijentirana ka budućnosti. Na osnovu aktualnih potreba, DVGW inicira, podržava i prati ciljane istraživačke i razvojne projekta. Stečena saznanja se primjenjuju u inoviranju tehničke regulative. DVGW certificiranje osigurava da se u okviru ispitivanja i certificiranja novih aparata, ugradbenih dijelova i postupaka, ispune standardi u pogledu sigurnosti i kvalitete definirani u tehničkoj regulativi DVGW-a. Primjenu tehničke regulative u praksi DVGW podržava kroz informiranje i školovanje stručnog osoblja i stručne javnosti.

DVGW ima 12.734 članova od toga 1869 poduzeća za opskrbu vodom i plinom, 1372 poduzeća proizvođača, 225 institucija, organizacija i instituta, kao i 9268 osobnih članova (Izvor: Godišnje izvješće DVGW-a za 2009. godinu). Za potrebe istraživanja i ispitivanja DVGW je potpuni ili djelomični vlasnik više instituta i istraživačkih centara, kao i ispitnih laboratorija (npr.: Tehnološki centar za vodu (TZW) u Karlsruheu, Hamburgu i Dresdenu, GWI u Essenu, DBI itd.).

2. TEHNIČKA REGULATIVA DVGW-a ZA VODU

Tehnička regulativa DVGW-a za vodu obuhvaća sljedeća područja:

- podzemne vode i upravljanje resursima
- vodozaštitne zone i vodozahvate
- pripreme vode
- kakvoću vode
- vodospreme
- transport i distribuciju vode
- korištenje vode (kućne instalacije)

Regulativa DVGW-a pruža poduzećima potrebnu pravnu i tehničku sigurnost kod projektiranja, gradnje, ispitivanja, puštanja u rad, rada i održavanja.

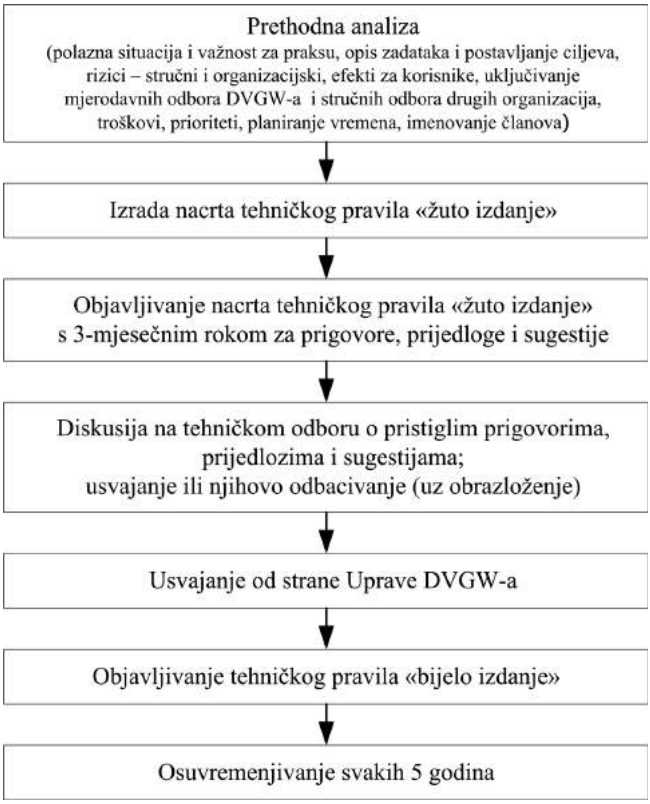
Regulativa DVGW-a je kao “priznata pravila tehnike” navedena u Zakonu o ener-

getskoj privredi i Uredbama o vodi za piće. Priznato tehničko pravilo je tehnička odredba koju većina mjerodavnih stručnjaka priznaje kao odraz stanja tehnike. Poslovnik DVGW-a, tehničko pravilo GW 100 (2009.), daje okvir za stručni rad DVGW odbora i čini podlogu za transparentni proces izrade tehničke regulative. U proces izrade tehničke regulative uključeni su stručnjaci iz svih interesnih grupa (vodovodi, proizvođači, projektanti i izvođači, predstavnici ministarstava i nadležnih institucija kao i stručna javnost).

Za područje vodoopskrbe DVGW regulativa trenutno sadrži

- 209 W tehničkih pravila koja se odnose samo na pitku vodu
- 92 GW tehničkih pravila koja pokrivaju zajedničko područje za vodu i plin.

DVGW regulativa obuhvaća tehnička pravila za projektiranje, proizvodnju, kakvoću plina i pitke vode za javnu opskrbu, gradnju, rad i održavanje postrojenja, uređaja kao i proizvoda za opskrbu plinom i vodom te organizacijske zahtjeve kao i zahtjeve u pogledu kvalificiranosti poduzeća i osoba koje se bave poslovima opskrbe plinom i vodom, kao i podloge za ispitivanje i certificiranje osoba, poduzeća i proizvoda. Tehnička regulativa je mjerilo za tehnički primjereno djelovanje i dopunjuje europske (EN) i nacionalne (DIN) norme za vodu i plin te predstavlja veliku pomoć u radu djelatnicima vodoopskrbnih



Slika 1. Postupak izrade tehničke regulative DVGW-a

poduzeća, projektantima, izvođačima, nadzornim inženjerima, ali i proizvođačima. Čine je tehnička pravila (radni listovi), DIN-norme i istovrijedna tehnička pravila, tehničke podloge za ispitivanja, privremene ispitne podloge, tehničke upute, podsjetni listovi, tehničke informacije, kao i cirkularna pisma.

Izrada DVGW regulative se kao i izrada europskih normi odvija na dva nivoa i u njenu izradu je na volonterskoj bazi uključeno više od 5000 stručnjaka koji po načelu „iz prakse za praksu“ definiraju minimum tehničkih zahtjeva uz najvišu moguću sigurnost i ekonomičnost, pri tome vodeći računa o higijeni i zaštiti okoliša (slika 1.).

DVGW regulativa je dostupna svima i važan je izvor spoznaja za tehnički primjereno ponašanje u uobičajenim slučajevima u praksi. Temelji se na konsenzusu zainteresiranih stručnih krugova. Primjenom regulative nitko se ne oslobađa odgovornosti za vlastito djelovanje, ali na sudu su - za korisnika “*očiti dokaz*” da je sve urađeno sukladno stanju tehnike i priznatim tehničkim pravilima. Obveza primjene tehničke regulative proizlazi iz pravnih propisa, ugovora ili drugih pravnih osnova. Naravno da se može primjenjivati i tehnička regulativa drugih članica EU s time da korisnici, u slučaju potrebe, moraju dokazati da je primijenjena tehnička regulativa ili tehnička rješenja istovrijedna ili bolja od DVGW tehničke regulative i njenih tehničkih rješenja.

2.1. Tehnička regulativa DVGW-a u Hrvatskoj

DVGW regulativa za plin i vodu se dugi niz godina koristi u Hrvatskoj za potrebe projektiranja, gradnje ili ispitivanja. Sklapanjem ugovora s Institutom IGH o suradnji, stvoreni su uvjeti za prijenos know-how DVGW hrvatskim stručnjacima.

Težište suradnje je prije svega u području izrade tehničke regulative za područje javne opskrbe pitkom vodom za područje RH bazirane na DVGW tehničkoj regulativi koja je harmonizirana s direktivama i normama EU kao i propisima i normama RH. U tijeku izrade tehničke regulative se usko surađuju sa stručnjacima DVGW-a i odvija know-how transfer hrvatskim stručnjacima koji će biti okosnica primjene tehničke regulative u Hrvatskoj. Objavljivanje ove tehničke regulative će pratiti odgovarajući programi obuke i edukacije namijenjenih svim djelatnicima u vodoopskrbi. Programi obuke i edukacije će biti pripremljeni i organizirani u suradnji s relevantnim institucijama i organizacijama u Hrvatskoj. Uz domaće predavače bit će po potrebi uključeni i međunarodni stručnjaci.

Distribuciju tehničkih pravila u Republici Hrvatskoj će na osnovu Licencnog ugovora s DVGW vršiti Institut IGH d.d.. Važno je napomenuti da će se tehnička pravila DVGW objavljivati na hrvatskom jeziku, što će olakšati njihovu primjenu u praksi.

U pripremi su tehnička pravila koja definiraju zahtjeve za izgradnju i održavanje vodoopskrbnih sustava, vodosprema, crpnih stanica, vodozaštitnih zona kao i zahtjeva u pogledu organizacije i kvalificiranosti vodoopskrbnih poduzeća i izvođača radova.

ZAKLJUČAK

Izrada tehničke regulative je posao od općeg interesa i velikog opsega te je potreban izniman angažman na njenoj pripremi i izradi, u što je stoga potrebno uključiti čitavu zajednicu. Za uspješnu realizaciju projekta potrebna je podrška svih subjekata vodoprivrede, prije svega nadležnih državnih tijela, Hrvatskih voda, GVIK-a kao predstavni-

ka vodovoda i kanalizacija Hrvatske kao i Hrvatske komore građevinskih inženjera i Društva građevinskih inženjera. Projekt je prilično zahtjevan i za njegovu realizaciju će biti potrebno uložiti dosta energije i truda, međutim pruža mogućnost izrade suvremene hrvatske tehničke regulative za vodu harmonizirane sa zahtjevima EU kao i formiranje hrvatskih timova stručnjaka koji će biti u poziciji da adekvatno odgovore na izazove članstva Hrvatske u EU, probleme klimatskih promjena, očuvanja resursa i praćenja razvoja tehnike.

KORIŠTENI IZVORI

[1] Godišnje izvješće DVGW-a za 2009. godinu, Bonn, 2010.

[2] Poslovnik DVGW-a GW 100, Bonn, 2009.

[3] Druge publikacije DVGW-a

AUTORI

Aida Bučo-Smajić, dipl.ing.kem. [a]
Branka Beović, dipl.ing.građ. [b]

[a] DVGW Sarajevo, Gradačačka 142, Sarajevo, 71000, BiH, aidabs.dvgw@bih.net.ba

[b] Institut IGH d.d., Janka Rakuše 1, Zagreb, 10 000, Hrvatska, branka.beovic@igh.hr

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.08.

ZELENE POVRŠINE URBANIH SREDINA KAO POTENCIJAL ZAŠTITE OD NEGATIVNOG DJELOVANJA VODA

Tatjana Uzelac, Katja Sošić

SAŽETAK: Ovim radom obuhvaćene su promjene nastale u okolišu kao rezultat klimatskih promjena u količini i kvaliteti površinskih i oborinskih voda, te jedan od mogućih načina rješavanja navedene problematike usporedno sa sve većim troškovima održavanja postojećih sustava odvodnje i sve većih investicija uzrokovanih postojećim načinom projektiranja i izgradnje infrastrukture odvodnje površinskih i oborinskih voda urbanih sredina. Poseban osvrt dat je na zelene površine, moguće kišne vrtove urbanih sredina, a koje su u većini slučajeva neiskorištene u svrhu zaštite recipijenta i samog urbanog prostora te kao takve potencijalno veliki resursi zaštite i recipijenata i samog urbanog prostora kao i zadržavanja površinskih i oborinskih voda unutar sliva a u cilju smanjena otjecanja, smanjenju zagađenja konačnog recipijenta i uštedi na održavanju, izgradnji ili rekonstrukciji postojećeg sustava odvodnje.

Na primjeru integralnog načina odvodnje i zaštite od negativnog djelovanja površinskih i oborinskih voda Nazorove ulice u gradu Puli, pokazat će se dobrobiti takovog načina planiranja. Istovremenim promišljanjem urbanog gradskog prostora, cestovne infrastukutre, infrastrukture odvodnje i u konačnici krajobraznog uređenja cjelokupnog prostora, mogu se postići značajne uštede u investiciji planirane infrastukutre, zaštite okoliša a uz estetsku i socijalnu komponentu, što do sada nije bio slučaj u planiranju i izgradnji infrastrukture odvodnje površinskih i oborinskih voda urbanih sredina.

KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, integralni pristup, kišni vrtovi, smanjenje investicija odvodnje

THE GREEN BELT ZONES OF URBAN AREAS AS POTENTIAL PROTECTION AGAINST THE WATER'S NEGATIVE IMPACT

SUMMARY: This paper covers the changes ensuing in the environment as a result of climate change by means of the quantity and quality of surface and precipitation water as well as outlining possible ways of resolving the aforementioned issues, along with the higher expenses of maintaining the existing drainage systems and the even greater investments which are the result of the current way of designing and building surface and

precipitation water drainage systems in urban areas. A particular overview has been given to green belt zones, potential rain gardens for urban areas which are mostly unused for the purpose of protecting both the recipient and the urban area itself. In this way, they are considered a potentially great resource of protection and recipients of the urban area as well as being resources for retaining surface and precipitation water within the drainage basin. All of the aforementioned is carried out to diminish the runoff, to reduce the pollution of the final recipient and to moderate the maintenance, construction or reconstruction expenses of the existing drainage system.

An example of an integral means of water drainage and protection against the negative influence of surface and precipitation water in Nazorova Street in the City of Pula will show the benefits of such planning means. As a result of simultaneous planning of the urban city area, road infrastructure, drainage infrastructure and, in conclusion the landscape organization of the entire area, a significant cost saving for the total investment of the planned infrastructure, in the environmental protection can be made whilst retaining the aesthetical and social components which, until now, have not been the practice when designing and building surface and precipitation water drainage systems in urban areas.

KEY WORDS: Climate change, integral approach, rain gardens, diminishing investments of drainage

1. UVOD

Posljednjih godina sve veća problematika vezana uz promjene klime, povećane količine oborina, suše, promjene u razinama mora u priobalnim pojasevima te posljedično sve većim izazovima u rješavanju nastalih situacija u prostoru, navodi na drugačije promišljanje pristupu rješavanja odvodnje oborinskih i površinskih voda od dosadašnjeg. Potapanje infrastrukture, povlačenje slatke vode uzrokovano podizanjem razine mora s negativnim posljedicama na vodoopskrbu i navodnjavanje, sve veća betonizacija i smanjenje zelenih površina a time i promjena ekosustava, štete uzrokovane tim promjenama, sve veće ekonomske potrebe za saniranje takovih stanja uzrokoju značajne promjene i na život u urbanim sredinama. Sve promjene koje se dešavaju upućuju na to da se integralnim pristupom navedena problematika može i drugačije riješavati. Primjenom urbanističkih analiza prostora, sociooloških studija, ekonomskih analiza, tehnikama uređenja prostora i s inženjerskog i s krajobraznog stajališta mogu se postići značajne uštede u planiranju gradskih prostora i gradske infrastrukture kao i zaštita grada od negativnog djelovanja voda na način da se gradski prostor sagledava kao jedinstveni ekosustav. U samoj strukturi svakog grada postoji element koji predstavlja važan resurs u promišljanju održivog upravljanja oborinskim vodama a to su zelene površine. Nazorova ulica u gradu Puli primjer je drugačijeg promišljanja i upravljanja gradskim prostorom.

2. ZELENE POVRŠINE U ODVODNJI GRADSKIH PROSTORA

2.1. Krajobrazne tehnike odvodnje korištenjem zelenih površina

Glavni princip održivog pristupa problematici oborinske odvodnje danas je ”upravljati oborinama na izvoru” (Thompson i Sorving, 2000), a u ovom kontekstu zelene površine u urbanim sredinama mogu imati i važnu ulogu kao zeleni dio oborinske infrastrukture.

U tom smislu zelene površine su neizostavni dio sustava odvodnje i imaju dvije važne uloge:

1. Smanjenje otjecanja oborinskih voda povećanjem infiltracije u podzemlje na samom mjestu nastajanja (na građevnoj čestici i uz prometnice),
2. Usporavanje otjecanja oborinskih voda u kanalizacijski sustav ili drugi recipijent retencioniranjem (na građevnoj čestici i uz prometnice).

Tehnike krajobraznog uređenja zelenih površina kojim se povećava infiltracija u podzemlje i smanjuje količina oborinskih voda koje se zbrinjavaju u kanalizacijski sustav, su infiltracijski kanali, infiltracijske žardinijere (slika 2.). Infiltracijski kišni vrtovi ili bioretencije se primijenjuju kada je koeficijent infiltracije tla veći od 130 mm/h (Environmental Service Division, 2007). U situacijama kada je hidraulička provodljivost tla manja od 10 mm/h nužno je predvidjeti drenirajući sloj zemlje (Stephens i drugi, 2002).

Tehnike krajobraznog uređenja zelenih površina kojim se retencionira su tzv. zeleni kanali i kišni vrtovi - bioretencije sa drenažnim sustavom.

Ove tehnike mogu se primijeniti uz prometnice (slike 1. i 2.), na parkiralištima, u parkovima (slika 3.), na trgovima, u stambenim naseljima, u industrijskim zonama, u komercijalnim zonama, odnosno u svim situacijama gdje ima zelenih površina.

Slika 1. Infiltracijski kanal - Seattle, SAD (Izvor: Wikipedia)

Slika 2. Infiltracijska žardinijera - Portland, SAD (Izvor: ASLA)

Slika 3. Zbrinjavanje oborinske vode u parku. Tenner Springs Park - Portland, SAD (Izvor: Dunnet i Clayden, 2007)

2.2 Utjecaji zbrinjavanja oborinskih voda na zelenim površinama

U skladu s prihvaćenim načinom odvodnje putem zelenih površina moguće je dodatno povećati pozitivan utjecaj na ekosustav jednoga grada.

Dodatni pozitivni učinci korištenja zelenih površina u kontekstu oborinske odvodnje su višestruki:

1. Obogaćenje ekološkog sustava u gradskim sredinama,
2. Poboljšanje percepcijskih vrijednosti,
3. Poboljšanje zdravlja stanovništa,
4. Unapređenje socijalne uloge otvorenih prostora,
5. Zaštita recipijenta i pročišćavanje.

Klasične zelene površine u gradskim sredinama uobičajeno imaju nisku ekološku vrijednost u optici biološke raznolikosti. One se uobičajeno uređuju travnjakom i sezonskim cvijećem i ponekad sa stablašicama. Za razliku od njih u zelenim sustavima odvodnje vegetacija ima važnu ulogu u upijanju vode i evapotranspiraciji, gdje nije dovoljan samo travnjak već se koriste razne ukrasne trave, trajnice, grmovi i stablašice, te je zbog toga postoji sadnja po principu "veća raznolikost veća korist" (Dunnet i Clayden, 2007). Takav način uređenja zelenih površina pridonosi većoj biološkoj raznolikosti ne samo u sloju biljaka već i s novim staništima s bogatijim prisustvom avifaune, leptira i raznih kukaca. Na taj način urbane sredine se obogaćuju u ekološkom smislu i povećava se njihov stupanj održivosti.

Druga korist je poboljšanje percepcijske vrijednosti urbanih sredina pošto se zapuštene zelene površine uređuju primijenjujući reljefno oblikovanje, bogatije sustave zelenila što daje značajan doprinos u gradnji slike grada.

Postoji mnogo pozitivnih poveznica između ljudskog zdravlja i izgradnje zelenih sustava za zbrinjavanje oborinske odvodnje. Povećanjem zelenila u urbanom okolišu dobijaju se pozitivni učinci na fizičko i mentalno zdravlje ljudi. "Fizičko zdravlje se poboljšava kao posljedica bolje kakvoće zraka, smanjuje se broj bolesnika astme, bronhitisa i drugih respiratornih bolesti" (Environmental services, City of Portland, 2010). Postoji i pretpostav-

ka da zelenilo utječe na fizičko zdravlje zbog toga što veće prisustvo zelenila stimulira aktivnosti na otvorenom, kao što je šetnja i boravak na otvorenom. Dokazano je da ljudi percipiraju ulice atraktivnije za šetnju ako su čiste, uređene, imaju scenarijskih vrijednosti i ako su prisutne druge ljudske aktivnosti (Borst i drugi, 2008). To znači da ako zahvatima zelene odvodnje povećamo scenarijske vrijednosti urbanih sredina povećavamo i atraktivnost za šetnju i druge aktivnosti na otvorenom. Isto tako ima dokaza da veća količina uređenih zelenih površina ima pozitivne učinke na smanjenje stresa (Kaplan, 1995).

Zahvatima uređenja zelenih površina povećava se sadržajna zanimljivost i obogaćuje se uloga otvorenih prostora kao socijalni moment druženja te se na taj način jača osjećaj pripadnosti društvu i datom prostoru, a veće prisustvo ljudi na otvorenom ujedno i pomaže smanjenju kriminaliteta. (Kuo i Sullivan, 2001).

Uvođenjem zelenih površina u dio odvodnje, tzv. zelene infrastrukture gradskih prostora može se postići i značajan efekt pročišćavanja (Environmental Services Division, Department of Environmental Resources 2007) i to suspendirane čestice 97%, fosfori 35-65 %, dušik 33-66 %, bakar 36-93%, olovo 24-99%, cink 31-99%, ulja i masti 99%, bakterije 70%.

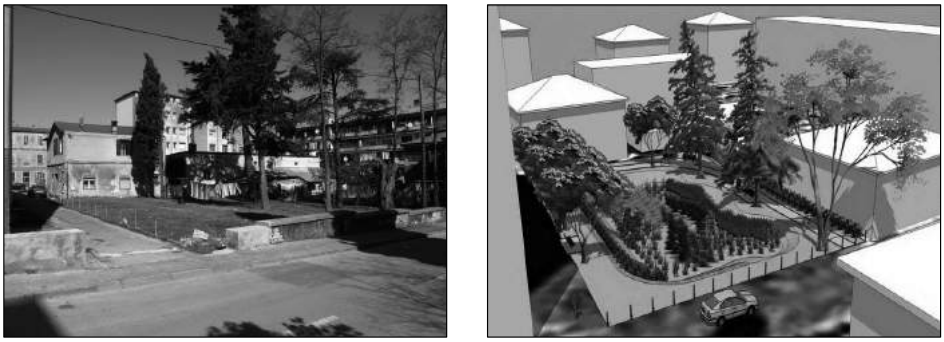
Pravilnim odabirom biljaka, ukrasnih trava i grmlja koje imaju takve karakteristike da podnose duge periode suše i isto tako duže periode vlage može se izbjeći problematika uvjetovana vremenskim prilikama. Neke od vrsta koje se mogu primijenti su: *Calamagrostis x acutiflora 'Karl Foerster', Carex pendula, Miscanthus sinensis, Miscanthus sinensis 'Adagio', Panicum vigatum 'Dallas Blues' , Panicum vigatum 'Heavy metal', Panicum vigatum 'Prairie Sky ', Sesleria autumnalis, Cornus alba, Cornus stolonifera, Mahonia aquifolium.*

3. NAZOROVA ULICA U PULI

3.1. Postojeće stanje

Ulica Vladimira Nazora, kao sustav oborinske odvodnje, pripada središnjem gradskom slivu doline Pragrande (Uzelac, 2010). Ulicu karakterizira gornji, uzvodni dio, vrlo strmog pada koji postepeno prelazi u nizvodnom dijelu u blaži i na kraju gotovo ravni dio. Upravo na njenom najnižem dijelu nalazi se zidani kanal Pragrande kao glavni kolektor oborinskih, ali i sanitarnih otpadnih voda tog dijela Pule. Taj dio grada karakteriziraju učestale poplave (Uzelac, 2010) uslijed oborina većeg inteziteta i neadekvatnog sustava za odvođenje do konačnog recipijenta. Uz samu ulicu postojale su zapuštene zelene površine (slika 4.) koje su se morale integrirati u sustav odvodnje.

Projektnim zadatkom bilo je definirano razdvojiti postojeću mješovitu kanalizaciju Nazorove ulice, te rekonstruirati prometne površine.



Slika 4. Zelena površina A1- postojeće i planirano stanje

3.2. Metodologija rada

Prikupljanjem i snimanjem stanja na terenu došlo se do podataka o postojećoj kanalizacijskoj mreži, problematici odvodnje ulice (slivnici i kolektor duljine oko 600 m) koja nije funkcionirala u periodima intenzivnih oborina. Cilj izrade projektne dokumentacije bio je ne samo razdvajanje postojeće mješovite kanalizacije, nego i pronaći rješenje kojim će se smanjiti dotok u glavni odvodni kanal Pragrande u kritičnom vremenu.

Osnovna metodologija rada osim prikupljanja podataka o kanalizacijskoj mreži i analizi hidroloških podataka bila je i integralni pristup:

1. analiza sustava klasičnom metodom (slivnici, kolektor) racionalnom metodom,
2. analiza sustava s retencijskim kapacitetom zelenih površina uz ulicu (korišten matematički model SWMM),
3. krajobrazni kriteriji,
4. ekonomski kriteriji,
5. oblikovanje prometnih površina i elemenata odvodnje.

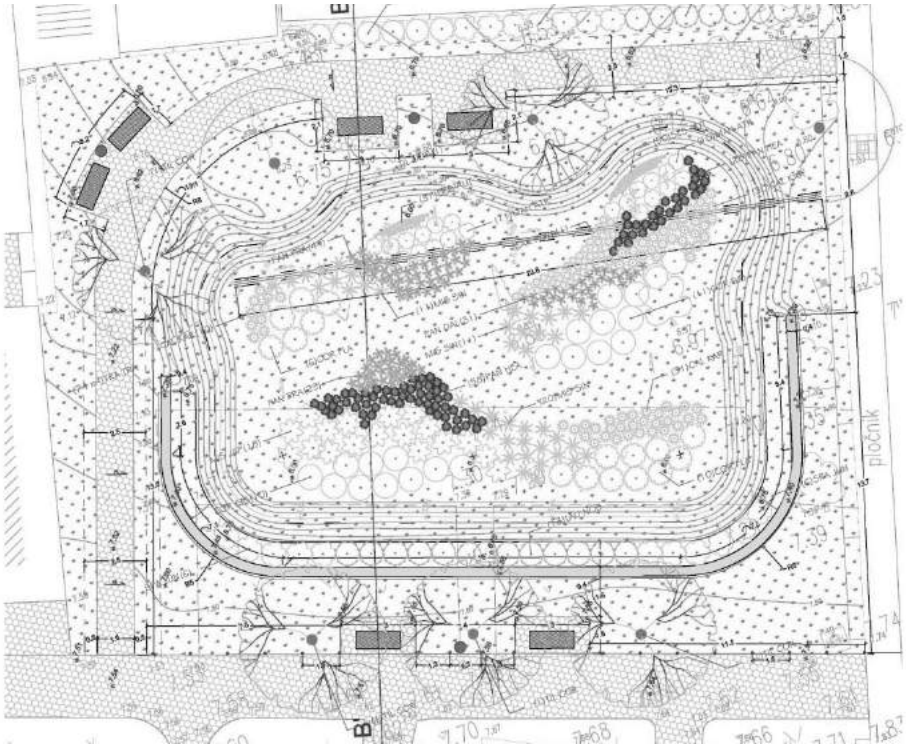
Usvojena metodologija rada usuglašena je s gradskom upravom grada Pule, te je prihvaćena kao model za buduća promišljanja gradskih prostora. Istovremenim radom, a prihvaćajući sve navedene analize i kriterije uz ekonomsku optimizaciju sustava, iznašlo se konačno rješenje uređenja Nazorove ulice u gradu Puli.

3.2.1. Analiza rezultata

Superponiranjem rezultata a na osnovi navedenih kriterija i provedenih analiza dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 2.

Tradicionalan pristup	Integralni pristup
Kanalizacijski sustav - cijevi sa slivnicima - potrebno 86 do 129 slivnika i cjevovod promjera 700 mm na nizvodnom dijelu	Cjevovod promjera 250 mm, zadnja dionica promjer 400 mm, 3 rešetke, 3 kišna vrta ukupnog volumena 500 m^3 i max. dubine 0,30 m, 1 infiltracijski jarak, ivičnjaci na nizvodnom dijelu kao dio prometnice s integriranim odvodnim kanalom
Nizvodno potrebno zbrinuti 606 l/s	Nizvodno ostalo za zbrinuti 206 l/s
Cijena oborinske kanalizacije 1.600.000,00 kn	Cijena oborinske kanalizacije 1.300.000,00 kn
Uzvodno - zapuštene zelene površine, nizvodno plavljenje	Uzvodno - uređene zelene površine, nizvodno spriječeno plavljenje
Nema utjecaja na socijalnu i estetsku komponentu	Ekonomski, estetski i ekološki utjecaj na nivou cjelovitog ekosustava

Tablica 2. Rezultati provedenih analiza



Slika 5. Građevinsko i krajobrazno oblikovanje retencije A1

Slika 6. Završni sloj kišnog vrta A1 prije sadnje i drenažni sloj kišnog vrta A2

ZAKLJUČAK

Urbanističkim i prostorno planskim analizama moguće je negativni utjecaj koje površinske i oborinske vode imaju na urbani prostor smanjiti na postojećem urbanom prostoru, kao i preventirati izradom prostorno planske dokumentacije, ali integralno analizom svih elemenata a koji su sastavni dio krajobraza određenog područja. Integralni pristup uređenja Nazorove ulice u funkciji smanjenja negativnih utjecaja oborinskih voda za vrijeme izvanrednih kišnih razdoblja i problema koji se pritom pojavljuju, pruža i druge višeslojne funkcije zelenih površina usred gradskog tkiva. Dok je jedna uređena ulica po tom principu, u odnosu na cijeli grad samo izdvojeni sustav, cjelovita mreža takve tipologije zahvata generira značajnu korist u procesu upravljanja oborinskim vodama te u ekološkoj dimenziji i gradnji infrastrukture te oblikovanju prepoznatljive slike jednoga grada.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se gradskoj upravi Grada Pule, gradonačelniku grada Pule gospodinu Borisu Miletiću, te Upravnom odjelu za komunalni sustav i imovinu na čelu s gospodinom Damirom Prhatom bez čijeg razumijevanja i vizije ne bi bilo moguće pokrenuti jedan takav projekt, te omogućiti daljnji razvoj i istraživanja u smjeru integralnog pristupa navedenoj problematici.

LITERATURA

[1] Borst H. C., Miedema H.M.E., de Vries S. I.,. Graham J.M.A,. Van Dongen J.E.F, (2008): *Relationships Between Street Characteristics And Perceived Attractiveness For Walking Reported By Elderly People*, Journal of Environmental Psychology, 28(4): od 353 do 361.

[2] Kaplan S., (1995): *Restorative Benefits of nature: Toward an integrative framework,* Journal of Environmental Psychology, 15(3): od 169 do 182.

[3] Kuo, F.E., SullivanW.C., (2001): *Environment And Crime In The Inner City: Does Vegetation Reduce Crime?* Environment and Behavior, 33(3): od 343 do 367.

[4] Dunnett N., Clayden A., (2007):Rain gardens:Managing water sustainability in the garden and designed landscape, Timber Press, London, str 15.

[5] Thompson W., Sorving K., (2000): Sustainable Landscape Construction, Island Press, Washington D.C., str.136.

[6] Stephens K.A., Graham P., Reid D., (2002): *A guide book for British Columbia: Stormwater Planning*, British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection**.** Environmental services City of Portland (2010): *Portland's Green Infrastructure: Quantifying the Health, Energy, and Community Livability Benefit*s, City of Portland.

[7] Environmental Services Division, Department of Environmental Resources (2007): *Bioretention Manual,* The Prince George's County, Maryland

[8] Stephens K.A., Graham P., Reid D., (2002): *A guide book for British Columbia: Stormwater Planning*, British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection**.**

[9] Uzelac T. (2009): *Nužnost integralnog pristupa planiranju i upravljanju oborinskim vodama na primjeru grada Pule***,** Zbornik radova Suvremene metode odvodnje oborinskih voda urbanih sredinana obalnim područjima, od 142. do 155.

AUTORI

Tatjana Uzelac, dipl.ing.građ [a]

Katja Sošić, mag. prostornog planiranja, urbanizma i planiranja okoliša [b]

[a] Starum d.o.o., za projektiranje i konzalting, Rovinjska 22, Pula, 52100, Hrvatska, tanja@starum.hr

[b] Studio za Krajobraznu Arhitekturu, Prostorno Planiranje, Okoliš d.o.o., Centener br. 40, Rovinj, 52210, Hrvatska, katja@studio-kappo.com

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.09.

VODA – UVJET ŽIVOTA U PUSTINJAČKIM ŠPILJAMA NA BRAČU

Vlado Božić

SAŽETAK: Pustinjaci su bili monasi koji su tražili samotnjački život i našli ga u prikladnim špiljama. U povijesti Dalmacije dogodila su se dva vala pustinjaštva: prvi u razdoblju pada Rimskog carstva i početka prihvaćanja kršćanstva u Dalmaciji, tj. u 4. i 5. st., a drugi u razdoblju provale Turaka u Dalmaciju, tj. u 15. i 16. st. Otok Brač bio je također meta pustinjaka. Iako na Braču ima mnogo špilja, za život u njima bile su prikladne samo one u kojima je bilo vode. Do sada su poznate četiri špilje u kojima su živjeli monasi-pustinjaci: Opatja špilja na sjevernom dijelu otoka, Zmajeva špilja, špilja Ljubitovica i špilja Dračeva Luka na južnom dijelu otoka. U prvom valu pustinjaštva korištene su Opatja i Zmajeva špilja, a u drugom špilja Ljubitovica, Dračeva Luka i opet Zmajeva špilja.

Istraživanjem ovih špilja ustanovljeno je da je od nastambi u Opatjoj špilji preostao samo dio zida na ulazu i bazenčić s vodom nakapnicom, da su u Zmajevoj špilji još sačuvane prostorije za boravak ljudi i dvije cisterne s vodom, da su u špilji Dračeva Luka još sačuvani dograđeni zidovi postorija i cisterna s vodom, i da je preko otvora špilje Ljubotivice sagrađen veliki samostan Blaca i u njemu cisterna s vodom.

KLJUČNE RIJEČI: voda, pustinjaci, špilje, Brač

WATER - CONDITION OF HERMIT LIFE ON THE ISLAND BRAČ

SUMMARY: Hermits were monks who wanted to live in solitude and found it in convenient caves. There were two waves of hermitic (solitary) life in Dalmatia. The first was in the period of falling down of the Roman Empire and beginning of Christianity in Dalmatia, namely in the 4-5th century and the second in the period of Turk's invasion in Dalmatia, namely in 15-16th century. Island of Brač was target of monks-hermits too. Although on the island Brač there are many caves, for living in them convenient were only these with water. Up to now known are four caves where monks-hermits lived: Opatja špilja (Monk's cave) on the north part of the island and Zmajeva špilja (Dragon's cave), cave Ljubitovica and Dračeva Luka cave on the south part of the island. During the first age of hermitic life used are Opatja cave and Zmajeva cave, and in the second, cave Ljubitovica and Dračeva Luka cave but again Zmajeva cave.

By investigating these caves is found out that from the Monk's cave only a part of a wall and little pool with drip water remained, that in the Dragon's cave premises and two cis-

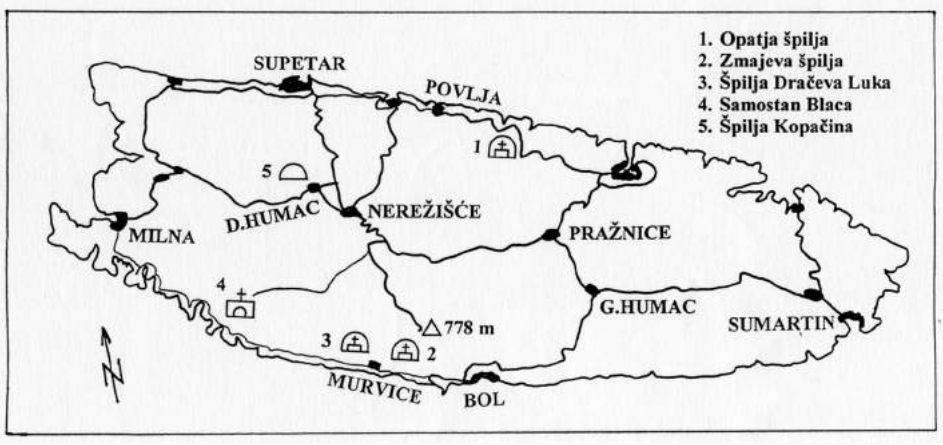
terns are still in good condition, that in the Dračeva Luka cave built walls and the cistern are still in function, and that over the entrance to the cave Ljubitovica big monastery Blaca was built and in his interior big cistern.

KAY WORDS: Water, Hermit-Monks, Caves, Brač

1. UVOD

O pustinjačkim špilja na otoku Braču pisalo je više autora, ali ni jedan nije do sada dovoljno naglasio ulogu vode u špiljama. Jer, ljudi su mogli živjeti samo u onoj špilji u kojoj je bilo vode. Naime, u cijeloj Hrvatskoj, pa tako i u Dalmaciji ima mnogo špilja koje bi možda bile ugodne za stanovanje kad bi u njima bilo vode. Dalmatinski otoci ne obiluju kišom, što više oskudijevaju vodom. Ljeti koji puta kiša ne padne pola godine, pa je do nedavno, kad je voda s kopna stigla na otok, bilo vrlo važno snabdjeti se vodom i sačuvati je za sušno razdoblje. Lako je shvatiti da su prvi doseljenici na otok najprije potražili vodu. Naselja su mogli sagraditi samo tamo gdje je bilo vode. Pustinjaci - monasi koji su tražili samotnjački život našli su ga u nekoliko špilja i iskoristili ih za život u njima. To su mogli zato jer je tu bilo vode koja je tekla ili se cijedila niz stijenu, pa su oni sagradili branu i stvorili bazen - cisternu koja im je omogućila korištenje vode tijekom cijele godine. Višak vode u nekim špiljama poslije su pretakali u veće cisterne ispred špilje.

Na otoku Braču četiri su takve pustinjačke špilje: Opatja špilja, Zmajeva špilja, špilja Dračeva Luka i špilja Ljubitovica (Slika 1).



Slika 1 - Položaj pustinjačkih špilja na otoku Braču

2. PUSTINJACI U DALMACIJI

Otok Brač bio je naseljen još u prapovijesti. Tragovi života na otoku nađeni su na više mjesta, među ostalim i u špilji Kopačini kraj sela Donji Humac. Iskopine iz špilje nalaze se u muzeju Dominikanskog samostana u Bolu i muzeju otoka Brača u Škripu. U špilji nema vode, ali se voda nalazi u maloj lokvi, koja nikada ne presuši, stotinjak metara od špilje. U povijesnom razdoblju ljudi su živjeli po cijelom otoku u zidanim nastambama - kućama, a samo su pustinjaci-monasi koristili špilje za svoje stanovanje. Pustinjaci su živjeli i na drugim otocima, na Hvaru i Čiovu, ali također i na kopnu.

O pustinjacima u Dalmaciji prvi je pisao sv. Jeronim. Puno ime te povijesne osobe je Hieronimus Sophronius Eusebius. Rodio se 340. god. u Stridonu, antičkom naselju u rimskoj provinciji Dalmaciji. Umro je 419. ili 420. god. u Betlehemu (u špilji) (A n o n i m u s, 1967).

Poznato je da se sv. Jeronim (svetim je proglašen mnogo kasnije) školovao u Rimu i Akvileji i sa 25 godina se zaredio. Dobro je upoznao život tadašnjeg društva koji mu se, kao i mnogim njegovim prijateljima, nije svidio, pa je odlučio dalji dio života provesti kao asketa živeći pustinjačkim životom. Otišao je najprije u rodnu Dalmaciju i tu neko vrijeme živio kao monah (opat-pustinjak). Nažalost nije poznato ni gdje mu je bilo obitavalište niti koje je to godine bilo (A n o n i m u s, 1967). Jedna zazidana špilja na poluotoku Marjanu kod Splita nosi njegovo ime - Špilja sv. Jeronima (Slika 2), pa se pretpostavlja da je u njoj živio baš sv. Jeronim, ali o tome za sada nema čvrstih dokaza (Š k o b a l j , 2003). Na otoku Braču u crkvi sv. Ane u Pražnicama nalazi se oltar s reljefom sv. Jeronima na kojem je prikazan kako nešto piše u špilji u kojoj je živio.

Slika 2 - Špilja sv. Jeronima na poluotoku Marjanu

O pustinjacima u rimskoj pokrajini Dalmaciji pisao je i sam sv. Jeronim u svojim kasnijim djelima. Napisao je djelo "Život sv. Ilara (Hilariona)" gdje je opisao i epizodu njegovog pustinjačkog života u rimskoj naseobini Epidaurumu (danas Cavtatu južno od Dubrovnika). Sv. Ilar bio je također povijesna osoba, rodio se u Palestini 291., umro na Cipru 371., a u Epidaurumu je boravio od 362.-366. Živio je u Špilji boga Mitre ili Tominoj jami (Slika 3) u današnjem selu Močići, maloj špilji s uklesanim likom boga Mitre u kojoj ima vode u danas obzidanom bunaru (L u k š i ć, 2000). Sv. Ilar bio je prvi čovjek koga znamo imenom da je živio u nekoj poznatoj špilji u Hrvatskoj.

Slika 3 – Tomina jama u Močićima u kojoj je živio sv. Ilar

Poslije je o pustinjacima na dalmatinskim otocima pisao C. F. Bianchi u časopisu "Zara Christiana" i citirao dio Jeronimova teksta o životu sv. Hilariona gdje kaže: "Kao i u Egiptu tako i na dalmatinskim otocima pobožni ljudi u pustinjama prednjače kršćanskom narodu u zajedničkom recitiranju psalama" (Bianchi, 1877). Opat Ivan Marković u "Izabranim poslanicama sv. Jeronima" govori kako je sv. Jeronim hvalio vrline mladog Nepocijana, nećaka svog nekadašnjeg prijatelja iz samostana, koji je težio samostanskom životu, pa je: "svaki dan gorio od želje da …zauzme koju pustinju dalmatinskih otoka" (Marković, 1908).

Za jadranske otoke Juraj Batelja kaže da su: "od ranokršćanskog doba bili obitavališta ljudi, koji su, odvojeni od svijeta, željeli služiti Bogu i posvećivati se provodeći strog pokornički život. Na otocima su se ćutjeli sigurnima pred navalom barbara i nevjernika. Osim toga otoci su, poradi svoga reljefnog sastava i blage sredozemne klime, bili pogodno tlo za oblikovanje monaškog života i uređenje nastambi koje su se, bez većih poteškoća, mogle urediti ili prilagoditi oko postojećih pećina i špilja" (Batelja, 2000).

O bračkim pustinjacima podataka ima u Enciklopediji Leksikografskog zavoda (A nonimus, 1967), te u knjigama Kerubina Šegvića (Šegvić, 1918), Jurja Batelje, Ante Šimunovića (Šimunović, 1997), Ante Škobalja, Ivana Markovića, Dasena Vrsalovića (Vrsalović, 1968), Nenada Cambija i drugih (Cambi, 2003). Iz tih se djela može saznati da je na otoku Braču u antičko doba bilo više rimskih gospodarstava (ratarskih, stočarskih i industrijskih) posebno oko Škripa, Splitske, Postira i Pučišća, o čemu svjedoče ostaci zidina stambenih zgrada (vilae rustice), sarkofazi, kamenolomi i drugi antički spomenici. U kasnoj antici, tj. u 3. i 4. stoljeću tu je prihvaćeno kršćanstvo pa je tijekom idućih stoljeća ovdje sagrađeno više ranokršćanskih građevina.

Tijekom 4. i 5. st. bilo je tzv. prvo razdoblje pustinjaštva na otoku Braču, a drugo se razdoblje zbilo u vrijeme turske najezde u naše krajeve. U 15. i 16. st. nastala je velika selidba stanovništva, među njima i monaha iz Poljica kod Splita koji su bježali pred Turcima. Mnogi su monasi tada prešli na Brač i tu osnovali više pustinjačkih samostana.

Dio njih se naselio na sjevernom dijelu otoka i osnovao samostane u građenim objektima - kućama, a dio je prešao na južni dio i tu osnovao samostane u špiljama.

Na južnoj strani otoka poznati su samostani oko Murvica: Blaca, Zmajeva špilja, Dračeva Luka, Stipančići i Silvio, dok na sjevernoj strani nema tako poznatih.

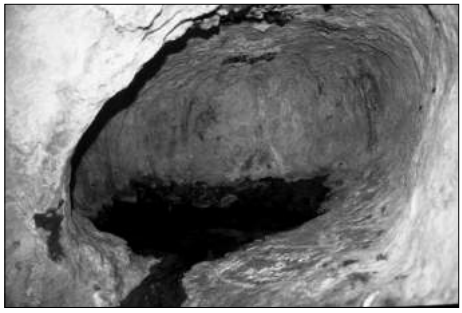
Između ta dva izrazita razdoblja pustinjaštva u Dalmaciji, u Hrvatskoj su poznata još dva slučaja pustinjaštva u špiljama i to: u Romualdovoj špilji (današnji naziv) u Limskom kanalu u Istri u kojoj je tijekom 9. st. živio pustinjak Romualdo (Komšo, 2009) i u Špilji sv. Martina u Podsusedu kraj Zagreba (špilja više ne postoji jer je srušena) u kojoj je tijekom 10. st. živio sv. Martin (Božić, 2010).

3. OPISI PUSTINJAČKIH ŠPILJA

3.1. Opatja špilja

U 4. ili 5. st. ljudi su boravili u **Opatjoj špilji** na sjevernom dijelu otoka, blizu grada Postira. Špilja se nalazi u plodnoj dragi Lovrečini s plitkom pješćanom uvalom, gdje je postojala mogućnost uzgoja poljoprivrednih proizvoda, stočarstva i ribolova. Iako su se pustinjaci u većini slučajeva prehranjivali milostinjom, koju su im davali otočni stanovnici, oni su si i vlastitim radom pribavljali sredstva za život.

Slika 4 – Ostatak zida u Opatjoj špilji



Slika 5 – Bazenčić s vodom u Opatjoj špilji

Opatja špilja je u stvari pećina ili polušpilja cijela osvijetljena danjim svjetlom. Duboka je samo 8 m, široka dvadeset, a visoka 3,5 m. Ulaz je bio zagrađen zidom čiji ostaci stoje i danas. U špilji se nalazi lokvica sa stalnom vodom koju i danas koriste pastiri i stoka (B o ž i ć, 2004) (Slika 4 i 5).

3.2. Zmajeva špilja

Svećenici-glagoljaši iz Poljica kraj Splita također su napustili svoje samostane i prešli na otok Brač. Prva je bila zaposjednuta **Zmajeva špilja** sjeveroistočno od sela Murvice u kojoj je već zatečen reljef zmaja i drugi reljefi. Zmajeva špilja, koja je ime dobila po reljefu zmaja u njoj, bila je nastanjena možda i u pretpovjesnom dobu, ali sigurno u antičkom dobu i početkom uvođenja kršćanstva na otoku tj. u 4-6. st. U špilji je od 1460. boravio svećenik Juraj Dubravčić i postupno gradio samostan, kojega su poslije dograđivali drugi. Samostan je napušten u 19. st.

Zmajeva špilja je duga 20 m, trokutasog je oblika, na ulazu široka 11 m i visika 12 m, a prema kraju se suzuje. U špilji je sagrađena kapelica i nastambe za stanovanje. Važan dio špilje su dvije cisterne sagrađene uz bočne zidove, u kojima ima vode i sada. U špilji ima zelenila, čak raste i stablo smokve jer ima i vode i svjetla. Zmajeva špilja je danas jedno od značajnih turističkih odredišta i jedna je od kontrolnih točaka planinarsko-speleološke obilaznice. Posjete se organiziraju iz Murvica (B o ž i ć, 1997. i 2010) (Slika 6 i 7).

Slika 6 – Ostatak nastambi u Zmajevoj špilji

Slika 7 – Velika cisterna u Zmajevoj špilji

3.3. Špilja Dračeva Luka

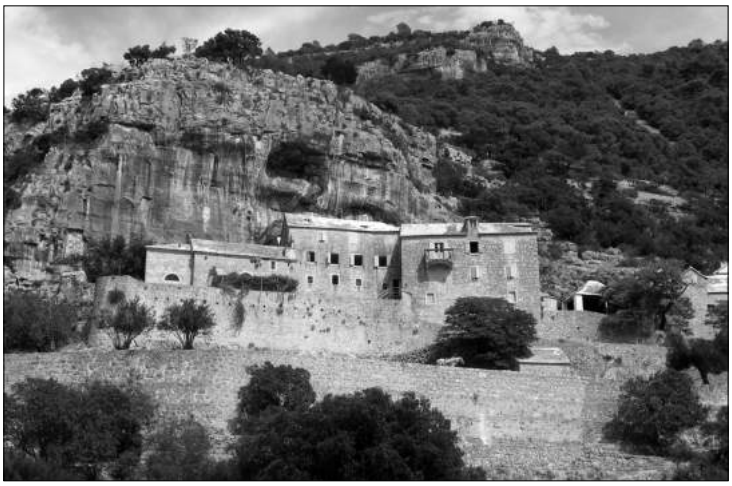
Pedesetak godina poslije u malu špilju sjeverozapadno od Murvica naselio se svećenik-glagoljaš Marin Kapitanović i tu osnovao samostan. Postupno je u samostan došlo više svećenika koji su ispred špilje sagradili veliki samostan i u njemu živjeli sve do 1954. godine, kada je samostan namjerno spaljen i naravno, napušten. Samostan je prozvan **Dračeva Luka** po uvali Dračevoj Luci iznad koje je sagrađen. Veliki samostan je bilo moguće sagraditi i održavati jer je u špiljskom bazenu bilo dovoljno vode, pa se višak prelijevao u veliku cisternu sagrađenu neposredno ispred špilje. U špilji i u cisterni i danas ima vode. U stropu špilje stalno živi manja kolonija šišmiša. Špilja je mala (8 x 16 x 4 m) i osvijetljena danjim svjetlom, samo je bazen s vodom u mraku. Špilju neorganizirano posjećuju turisti koji borave u Murvicama (Božić, 2005) (Slika 8 i 9).

Slika 8 – Bazen s vodom u špilji Dračeva Luka

Slika 9 – Odvod viška vode iz bazena u veliku cisternu

3.4. Špilja Ljubitovica

Samostan Blaca najznačajniji je kulturno-povijesni spomenik na Braču. Sada je organiziran kao muzej kojega posjećuju brojni turisti, iako nije dostupan automobilima. Od najbliže ceste udaljen je 30-45 minuta hoda, ne previše strmim stazama. Osnovan je sredinom 16. st. kada su ovamo došla dva svećenika, poljička glagoljaša. Bili su to Matija Tomašević i Grgur Martinović koji su se 1555. nastanili u špilji Ljubitovici, u brdu, izvan pogleda s mora. U špilji je bilo potrebne vode za život. Monasi su postupno sagradili zidove oko špilje, a poslije njihovi nasljednici i velike zgrade koje su prerasle u prekrasan i bogat samostan. Najveći procvat samostan je doživio u 18. st. Poslije 1784. godine,



Slika 10 – Samostan Blaca

nakon velikih kiša i tuče, kada su bujice razorile polja, vrtove, voćnjake i vinograde, gospodarstvo samostana počelo je siromašiti, a pustinjaci napuštati samostan. Život u samostanu konačno je potpuno zamro 1963., kada je umro zadnji blacanski pustinjak Nikola Miličević. Za danjašnji izgled samostana zaslužna je dinastija Miličević koja je zadnjih 100 godina obogatila samostan raznim gospodarskim, kulturnim, prosvjetnim i znanstvenim sadržajima (proizvodnja vina, meda, sira i dr. za trgovinu; neobično bogata biblioteka, vlastita tiskara, škola za svećenike i seljake, astronomski opservatorij i dr.). Špilja Ljubitovica se više ne vidi jer je sva ograđena zidovima tako da se njenu veličinu sada ne može sagledati. No, uz kuhinju u donjoj etaži samostana vidljivi su zidovi bazena (cisterne) u kojoj se nalazi slavina za uzimanje vode. A vode ima uvijek dovoljno. Tijekom 18. st., kada je u samostanu i oko njega živjelo mnogo ljudi i stoke, vode je bilo za sve. Posjetiteljima muzeja-samostana i danas je voda iz špilje najbolje osvježenje. Pokraj samostana nalazi se otvorena cisterna u kojoj također uvijek ima vode, a služila je za napajanje stoke i zalijevanje nasada. Tijekom ljeta u Blacu se svakodnevno organiziraju posjeti iz Bola (Batelja, 2000) (Slika 10 i 11).

Slika 11. Slavina u zidu za ispust vode iz cisterne

ZAKLJUČAK

Tražeći prikladno mjesto za samotnjački život pustinjaci-monasi našli su ga na otoku Braču u nekoliko špillja. U prvom valu pustinjaštva (4.-5. st) koristili su Opatju špilju na sjevernom dijelu otoka i Zmajevu špilju na južnom dijelu otoka. U drugom dijelu pustinjaštva (15.-16. st.) koristili su špilju Ljubitovicu, špilju Dračeva Luka i opet Zmajevu špilju. Iako na Braču ima mnogo špilja koje bi prostorno bile pogodne za boravak u njima, pustinjaci su mogli koristiti samo one u kojima je bilo vode, a to su samo 4 spomenute špilje. Vode u tim špiljama ima i danas. Bilo bi dobro u svim tim šipljama obaviti i detaljno arheološko istraživanje.

Sve ove špilje označene su na topografskim i turističkim kartama otoka Brača.

LITERATURA

[1] ANONIMUS, (1967): Sv. Jeronim, Enciklopedija leksikografskog zavoda, Tom 3, Zagreb, 280

[2] BATELJA, J., (2000): *Apokalipsa u Zmajevoj špilji*, Vlastita naklada, Zagreb, 27-47

[3] BIANCHI, C.F., (1877): Zara Christiana, sv. 1, Zara, 297

[4] BOŽIĆ, V., (1997): *Zmajeva špilja*, Speleolog, god. 42/43, za 1994-1995, Zagreb, 17-21

[5] BOŽIĆ, V., (2004): *Opatja špilja*, Speleolog, god. 50/51, za 2002-2003, Zagreb, 66-70

[6] BOŽIĆ, V., (2005): *Pustinjačka špilja Dračeva Luka*. Speleolog, god.52, za 2004, Zagreb, 62-65

[7] BOŽIĆ, V., (2009): *Još jedno tumačenje reljefa u Zmajevoj špilji*. Speleolog, god, 56, za 2008, Zagreb, 75-80

[8] BOŽIĆ, V, (2010): *Špilja sv. Martina*. Speleolog, god. 57 za 2009, Zagreb, 142-143

[9] CAMBI, N. i drugi, (2003): Mjesec u Hrvata i Zmajeva pećina, Naklada Bošković, Split, 1-177

[10] CICCARELLI, A., (1802): Osservazioni sul'izola di Braza e sopra quelle nobita, Venezia,.30

[11] KOMŠO, D, (2009): *Romualdova pećina*, Arheologija i turizam u Hrvatskoj (Mihelić, S.), Arheološki muzej Zagreb, Zagreb, 308-311

[12] LUKŠIĆ, I., (2000): *Sveti Ilar (Ilarion) zaštitnik župe Mlini*, Zbornik župe dubrovačke, sv. III, Dubrovnik, 200-208

[13] MARKOVIĆ, I, (1908): Izabrane poslanice sv. Jeronima, sv. II, Zagreb, 30

[14] ŠEGVIĆ, K., (1918): Doživljaji svetog Jeronima, Društvo Sv. Jeronima, Zagreb, 21-31

[15] ŠIMUNOVIĆ, P., (1997): Brač - vodič po otoku, Zagreb, 29-31, 87-91 i 108

[16] ŠKOBALJ, A., (2003*): Izvori o pustinjaštvu i Zmajevoj špilji na Braču, te o prežicima kulta mjeseca*, (Cambi, N., Kusch H. i I., Mužić, I.), Mjesec u Hrvata i Zmajeva pećina, Naklada Bošković, Split, 71-80

[17] VRSALOVIĆ, D., (1968): Povijest otoka Brača, Brački zbornik, 6, Supetar, 31

AUTOR

Vlado Božić, dipl.ing. [a]

[a] Speleološki odsjek Hrvatskog planinarskog društva «Željezničar», Trnjanska 5b, 10 000 Zagreb, mail: zlatko.bozic1@zg.t-com.hr

R 4.10.

CLIMATE PROOFING URBAN WATERS: CHALLENGES AND ASSOCIATED RESEARCH AGENDA

Mark Womersley, Bozidar Deduš, Vladan Babović, Joost Buurman

ABSTRACT: The climate adaptation problem is characterized by the need to take decisions now in the presence of significant empirical uncertainty about future climate scenarios. In this respect, there should be alternative ways of taking no-regret-decision in relation to future climate risk. Ways to engineer resilience against extreme weather into the Cities Of The Future (COTF, whilst promoting water and environment security. Fundamental to the issue of climate risk is the adaptation problem. How do we develop requirements for policy and infrastructure that are characterized by the presence of extreme weather events; in terms of heat waves, floods, droughts, storms and coastal inundation? This paper examines the research agenda for policy makers, engineers and public service managers delivering on the vision of a climate proof COTF.

KEY WORDS: Climate adaptation, Cities Of The Future, Research Agenda

KLIMATSKI ZAŠTIĆENE KOMUNALNE VODE: IZAZOVI I S NJIMA POVEZANI PLANOVI ISTRAŽIVANJA

SAŽETAK: Za problem klimatske prilagodbe karakteristična je potreba da se donesu odluke sada, kada postoji znatna iskustvena nesigurnost o klimatskim scenarijima u budućnosti. U tom smislu, trebali bi postojati alternativni načini donošenja odluka o budućim klimatskim rizicima koje nećemo požaliti, načini da se stvori otpornost na ekstremno vrijeme u "gradovima budućnosti" uz promicanje sigurnosti voda i okoliša. Problem prilagodbe od vitalne je važnosti za klimatske rizike, odnosno kako izraditi zahtjeve za politiku i infrastrukturu koje karakterizira prisustvo ekstremnih vremenskih događaja, bilo da se radi o toplinskim valovima, poplavama, sušama, olujama i plavljenju obala. Ovaj rad ispituje planove istraživanja za kreatore politike, inženjere i voditelje javnih službi u ostvarenju vizije klimatski zaštićenih "gradova budućnosti".

KLJUČNE RIJEČI: klimatska prilagodba, "gradovi budućnosti", planovi istraživanja

1. INTRODUCTION

Population growth coupled with economic growth has led to high-density development in land-scarce Singapore and innovative solutions are constantly being explored to make

most of the available space. At the same time, climate change and depleting energy resources have increased the awareness for energy-efficiency and efficient use of natural resources. Moreover, freshwater is increasingly becoming a scarce commodity that needs to be managed efficiently, especially in Singapore, which is a water-scarce country relying on water imports from abroad.

Implementation of adaptive measures in COTFs should therefore maximise their capacity for water retention and storage to avoid loss of an increasingly scarce resource (drinking water). The potential to add value by incrementally building resilience into the COTF is seen as being underpinned by an engineering philosophy that pursues the use of appropriate technology at a small scale to incrementally resolve larger scale problems. Porous pavements are explored in this paper as an example of one potential technology that can be deployed incrementally to solve larger scale problems of water and environment security. However, it is argued that without an adequate philosophy for engineering resilience into the COTF climate governance, public services management and engineering leadership may fragment and conventional decision making approaches may fail to realize opportunities to climate proof our cities.

To date, the implementation of climate adaptive measures in urban catchments has been focussed on reservoir systems. The multiple use (functional use) of pavements, car parks, roads etc as water infrastructure is potentially of value to climate proofing cities if it is scalable, modular and flexible in terms of being deployed across a city to achieve 'benefits of scale. It is the value of flexibility within an engineering philosophy for climate adaptation problem that is proposed as holding potential for realizing the full utility of real options in the presence of long term uncertainty.

As Singapore strives to become a City Of The Future (COTF), Singapore must be able to adapt to extreme hydrograph events and storms- abnormally high peak flows or loss of base flow through the catchment. This can only effectively done if climate leaders, policy makers, engineers and other stakeholders can engage within a socio-technical frame to address the adaptation problem.

2. THE CLIMATE ADAPTATION PROBLEM

The climate adaptation problem is characterized by the need to take decisions now in the presence of significant empirical uncertainty about future climate scenarios. Most people believe that the World is getting warmer, because of anthropogenic greenhouse gas emissions and the greenhouse gas effect. National and Regional climate risk management efforts are now forced to consider a wide range of potential impacts and countermeasures; because of the inherent uncertainty in our ability to accurately predict future climate scenarios. The time it will take climate science to accurately downscale models to predict local impacts is fundamental to the efficacy of climate risk management.

But what do we do if climate science can't provide answers in time to react to the causes and consequences of climate change. What if the problem is overestimated and we over engineer a response – leading to unnecessary public expenditure. What if it is underestimated and we under engineer a response because we can't react in time – once information on the true nature of the threat is revealed – leaving us exposed to catastrophic loss. How will we make critical decisions related to the management of climate risk? It

is impractical and possibly naïve to believe that Nations would simply postpone critical infrastructure decisions in order to wait for climate science to provide the answers.

There should be alternative ways of taking no-regret-decision in relation to future climate risk. Fundamental to the issue of climate risk is the adaptation problem. How do we cost effectively design and engineer climate proof artefacts and infrastructure in climates that are non-stationary? How do we develop requirements for policy and infrastructure that are characterized by the presence of geo-hazards - extreme weather events; in terms of heat waves, floods, droughts, storms and coastal inundation?

Engineers, policy makers and managers of public service organizations must find ways of working together. Only by working together will we be able to proactively make decisions that establish requirements for adaptive capital and infrastructure. These types of decision processes must identify the local meaning of climate proof artefacts and infrastructure, which is not over engineered and yet remains fit for purpose in non-stationary climates.

3. WATER, ENERGY AND CARBON

Water, energy and carbon management are key management factors in the concept of infrastructure for COTF. Water production and supply uses significant amounts of energy, paradoxically, large quantities of water are used in producing fossil fuel energy, leading to increased carbon emissions. Positive feedback in the system leads to the water-energy nexus, an un-virtuous cycle that is difficult to break. Water (energy) conservation, storm water capture and storage and the re-use of grey water form important elements of low carbon growth by de-coupling the water-energy nexus in the COTF.

Urban storm water runoff increases with urbanization, reducing water retention and infiltration in the catchment and therefore increasing urban flood risk. These potential problems are amplified by climate change (episodic droughts and intense rainfall, accompanied by heat waves and storm surges, respectively). The COTF must be able to adapt to extreme hydrograph events - abnormally high peak flows of water through the catchment - leading to surcharge induced inundation of urban drainage systems and loss of an increasingly scarce resource (drinking water).

Integrated water management in a warming world requires that we build adaptive capacity into city infrastructure – potentially in a world of water scarcity - capturing and storing 100% of available rainfall within the catchment. This requires water management solutions that extend beyond the conventional concept of the water catchment. These type of solutions would need to be integrated into infrastructure in order that we can maximise the use of the same space for multiple functions - functions that reduce the water, energy and carbon footprint of the COTF and/or enhance water and energy recovery.

Underground structures or augmented ground water storage as part of a program for conjunctive use become more viable as a real options,. Capturing peak flows, that would otherwise be lost to sea, provides an opportunity to build resilience against water scarcity, flood risk and high temperatures (heat island effects) through rain water harvesting, storm water capture and storm water storage for heat exchange in porous pavements (either heating or cooling).

The value proposition includes combining porous pavements with underground structures

S/N	Benefits	Implications
1.	Land Productivity and Value - One infrastructure, multiple use and/or function in built structures	i) Multiple use of infrastructure utilizing the same space for different functions that address the water-energy nexus ii) Building climate adaptation into infrastructure in readiness for a warming world iii) Creating real options thinking to deploy infrastructure in a warming world
2.	Underground Water Storage - Increased water storage capacity and catchment expansion	i) Multiple use of built structures for water harvesting and storage ii) Catchment expansion within the built environment to encompass industrial, residential and public spaces iii) Increased water security through increasing the quantity of water in the catchment
3.	Storm Water and Flood Control - Increased water retention in the catchment[1]	i) Reduced peak flows in the catchment leading to greater flood (water) retention and therefore reduction of flood risk ii) Increased resilience to climate change, preparing for extreme weather and intense rainfall events that may lead to localised flooding
4.	Quality of Grey Water - Capture and in-situ bioremediation of storm water	i) Passive water filtration mechanisms can enhance the quality of water before it reaches the reservoirs ii) In-situ bioremediation of water stored in built structures can improve the quality of grey water to encourage reuse and water conservation iii) Increased capture and reuse can reduce the water footprint and energy footprint of the water supply system, decoupling the water-energy nexus
5.	Micro Climate and Heat Exchange Evaporative cooling, heat exchange and heat islands effects	i) Water stored in pavements can be used to reduce thee temperature of road and pavement surfaces through natural evaporation, increasing pedestrian comfort[2] ii) Road surfaces can be used to pre-heat water to improve energy conservation in industrial and residential water supply systems[3] ii) Forced evaporation over water stored in built structures can be used to provide a water source at less than ambient air temperatures for use in cooling public spaces (reducing heat island effects) ii) Water bodies in built structures can be used as a waste heat sink to receive and slowly dissipate waste heat through evaporative cooling[4]
6.	Improved Wet-Weather Driving Safety - Reduced traffic accidents on rainy days	i) Efficient downward infiltration of surface rainwater helps to maintain a high pavement skid resistance on rainy days, and reduce hydroplaning risk ii) Porous pavement surface reduces splash and spray to minimize driving interference iii) Improve night-time pavement marking visibility on rainy days
7.	Reduced Traffic Noise - Porous pavement structure lowers tire-pavement noise	The overall traffic-generated noise is lower due to the noise absorption capability of the porous pavement structure, which cuts down tire-pavement interaction noise.

Note 1 - Based on our hydrology stimulation at Sungei Kadut, Singapore porous and permeable pavements can help to reduce the runoff volume by 28%-32% in the catchment.

Note 2 – Natural evaporation from the porous pavement is able to reduce a road or pavement surface temperature by 10°C, thus reducing the re-radiation effect of hot surfaces and improving pedestrian comfort.

Note 3 - A road 5m x 300m = 1500m2 can provide 16MW of energy a day to be harvested for other uses.

Note 4 – The cumulative impact of natural an/or forced evaporative cooling over water stored in subterranean structures may be significant in managing microclimates around buildings, industrial parks and neighbourhoods (as much as 10-15% of Singapore's land area comprises road surfaces including car parks).

for temporary buffering of water in the urban drainage catchment - expanding the water catchment into the built environment through the multiple uses of common infrastructure. Furthermore, rooftop water harvesting, combined with the use of porous pavements (roof to road water capture and storage), offers the flexibility to build adaptive measures into the COTF. It is argued that porous pavements provide local, small scale benefits related to increased water quantity (through capture and storage of storm water runoff from infrastructure), improved water quality (through better materials selection and introduction of bio-sorption into pavement design) and energy conservation (through use of heat exchange and re-use of storm water as grey water to decouple the water-energy nexus).

The heat exchange and evaporative cooling potential of porous pavements is proposed as an important area for further research. Recent improvements in materials technology, the use of geo-cellular units and geo-textiles are believed to have increased the available utility of porous pavements in an urban environment. Climate resilience is proposed as being created through deploying porous pavements as location based options in roads, car parks, industrial estates, parks and neighbourhoods.

4. CLIMATE TRANSITION MANAGEMENT

The reduction in emissions achieved to date through climate mitigation policies and sustainable development practices suggest that emissions will continue to grow over the next few decades (IPCC Working Group III, 2007). In the short term we are 'locking in' a level of warming for the future. Countries will need to be effective in the use of NPG, engineering and technology to deploy adaptation measures in an uncertain climate future. It is argued that both mitigation and adaptation must be equally deployed as a response to climate change (in part because they are interrelated), but that adaptation is now unavoidable and a pressing national issue for all countries (Meadowcroft, 2009). Therefore politicians, policy makers, public service managers and engineers should all pay particular attention to the long term implications of decisions associated with the climate adaptation problem (and do so together through governance networks).

Part of the response to adaptation will not only require public service managers and engineers to come together but also engage within governance networks across institutions and beyond the boundaries of government. This will require a common language within governance networks as we strive to understand how we can configure socio-technical responses to the challenge of making common property climate proof. This is particularly relevant, as all parties will need to reflect upon, analyse and communicate the local meaning of becoming climate proof. For clarity some terms are offered:

• *Climate Proof* – An artefact that leads to an increase in local preparedness, reduced climate risk, mitigation of climate impacts, increased resilience to residual risk, better management of residual harm and/or loss and reduced recovery time and cost;

• *Adaptive Capital* – Engineering know how, real options thinking, participatory decision making and learning by doing to discover, what climate proof artefacts are, what engineers do to create them, and what information is required in order to know when to deploy them;

• *Adaptive Capacity* – The discipline of interdisciplinary, including the use of phenom-

enology (what differences make a difference), epistemology (what we know and what we don't know we know), hermeneutics, heuristics, language, meaning (including topology and meaning of place), bias, understanding, values and choice, in order to frame no regret decisions, as real options for deployment of adaptive capital;

The nature of societal risk in engineering has been well documented within the engineering community (Royal Academy of Engineering, 2002). Societal risk associated with climate change is likely to be highly sensitive to location. Climate impacts could vary considerably in terms of their consequences at regional, national and local levels. The geographical nature and scale of impacts will define the basis for adaptation, which is likely to create more uncertainty as to what constitutes the correct response locally. As local variation in terms of the causes and consequences of climate change will be greatest. This is believed to be an important factor in national adaptation, for Singapore, a factor that could really make a difference in how we evolve NPG beyond the boundaries of traditional governmental institutions. However, harnessing the latent capacity to adapt to a warming world requires insight into the structure and function of NPG networks. This includes aspects, such as, polycentricity, the compound nature of institutional organizations, effects of combining small, big and large subsystems as layers of climate governance nested within layers of government (Toonen, 2010).

New research directions in social science may improve the efficacy of a number of approaches to identifying and deploying adaptation measures on the basis of seeking 'no regret' decisions in transition management. But there are also research opportunities to study variations in individual, community and national resiliency in any one of a number of industry sectors and/or groups of stakeholders; including their latent capacity to respond to the causes and consequences of climate risk (AMA, 2010).

In contrast to the development of NPG research, these small world dimensions are believed to be underdeveloped in engineering and technology climate change research. However, research directions for climate mitigation and adaptation have been prioritized in the social sciences (AMA, 2010). Current research directions include multi-level and global governance; decision making and risk assessment; cultures of consumption; contributions to advocacy and action research; and the structure and role of organizations and networks. Research initiatives in engineering should seek to integrate and learn from research in the area of public governance and how public service managers make decisions - .including how politicians, other policy makers and governance networks constrain or liberate adaptive capacity.

The transition already alluded to, is likely to require new forms of governance; different types of organisations; different types of risk management; different types of decision making; different types of public relations (e.g. the communication of climate risk/opportunity); and the capacity to develop a collective consciousness of climate risk/opportunity across diverse groups and civil society at national and local levels (Meadowcroft, 2009).

If engineers are to fully engage in transition management they require a language and value system that is aligned with the values, structure and topology of actors within NPG networks. In this respect engineers have to pay attention to research in governance if they are to claim equality alongside science and technology. The ability of engineers to tap societal mobilization in response to the urgency for a low carbon economy and the

prudence to adapt in response to a non-stationary climate is likely to be found within the networks of NPG.

5. REAL OPTIONS THINKING

In most Countries, including Singapore, the process of taking decisions to effectively deploy climate policy, will fall under NPG as defined by Stephen P. Osborne (Osborne, 2010). Singapore's climate change agenda is currently emerging, in this respect, real options are believed to be underutilized and misunderstood by politicians, policy makers and public service managers in Singapore.

In pursuit of using Real Options as an implementation tool to build adaptive capacity we must recognize that there are many actors within Singapore's NPG setting, each with different motivations, perspectives bias and language. In order for the proposed research to be successful it must be placed in a frame of reference for politics, governance and engineering. Only through engaging different actors within different political and institutional layers of government and governance will we be able to recognize the opportunities and constraints for mobilizing the utility of real options.

But we can't wait until the policy makers are certain about the true nature of a threat and their requirements to define real options for engineering adaptive capital. Nor can we wait until climate scientists are certain of the causes and consequences of a warming world to establish requirements for climate proof artefacts, which can be configured as blueprints for adaptive capacity and deployed as adaptive capital.

It is therefore argued that engineers should take the lead in debating the truth and nature of adaptive capital - simply because, we may always be faced with high levels of climate uncertainty in decision making for decades to come. This area is considered to be an emerging whitespace for the influence of philosophy on engineering. This is argued to be a space in which the philosophy of engineering may sit comfortably with socio-technical approaches to the NPG of climate adaptation using Real Options.

The application of real options to climate adaptation creates opportunities to use the philosophy of language (speech acts) and heuristics to frame 'no regret decisions' in a process of discovering blueprints for adaptive capacity and adaptive capital. To achieve this, climate leaders, engineers and civil society need to work together with politicians, policy makers, public service managers and networks of other stakeholders to prepare blue prints for adaptation before they are required. [*Portfolios of climate proof artefacts configured within loosely coupled, flexible architectures to build adaptive capital (blueprints for adaptation) and the use of heuristics for framing no-regret-decisions that allow their optimal deployment at some future point in time*].

As empirical evidence reveals better climate predictions, engineers, policy makers, PSOs and civil society may review blueprints for adaptation that are available for deployment, as needed, to render us climate proof. Uncertainty is removed through the use of preconfigured real options portfolios [*blueprints for aggregating climate proof artefacts in a flexible architecture*] and horizon scanning for revealing information relating to climate threats, which triggers the deployment of an artefact as a real option. The value of flexibility is therefore found in the ability to wait to deploy only what is needed [*the right climate proof artefact at the right moment*] rather than over or under engineering a solution in the

presence of significant uncertainty.

The central issue becomes one of timing. To overcome the problem of timing it is proposed that we turn to an understanding of adaptive capacity that is informed by philosophy and heuristics of language to describe both the artefact and the decision chain to discover what we already know and what we need to know to address the issue of timing. The proposed approach can only work if we are to develop requirements in the decision domain (Buckley & Stammnitz, Unknown).

The value of flexibility is realised only as information relating to an emerging climate threat is revealed (what we need to know) and climate proof artefacts (what we have discovered we know through the use of heuristics and philosophy of language) are deployed in a flexible architecture to build resilience (achieving a close proximity to the minimal cost sought by Nicholas Stern (Cabinet Office UK HM Treasury, 2007)).

Policy makers and public service managers can iteratively calculate the cost of local requirements for adaptive capital. By doing so, they can leverage modularity and the value of flexibility in maintaining blueprints for engineering resilience to climate threats (preparedness) through the use of a philosophical understanding of the climate adaptation problem.

Fundamentally, this process is proposed as the practical application of engineering philosophy through the use of heuristics to gain insight into the nature of climate proof artefacts. This is proposed as being achieved by using Real Options thinking to aggregate climate proof artefacts together, not as static engineered things in themselves, but as a flexible architecture. An architecture that provides cost effective choices for upgrading elements of common property based on the value of protection, mitigation, resilience and recovery they provide to a community.

Croatia, sharing lots of similarities and as much diferences with Singapore, is facing similar problems in rather slow process of atracting particular attention to climate changes problems from key policy and decision makers to experts and the widest public. EEA in it's document „Climate change mitigation (Croatia) - **Published:** 23 Nov 2010" defines future of climate changes in Croaia: "Despite the fact that greenhouse gas emissions from Croatia account for less than 0.1 % of global emissions and the country has some of the lowest per capita emissions in Europe compared to other Kyoto Protocol Annex I countries, the effects of climate change will not be avoided.

It is estimated that climate change in Croatia will mainly affect the sectors of agriculture, fisheries, hydropower and tourism. These sectors account for 25% of the Croatian economy, employ almost 600.000 people and represent a total annual GDP of 9 billion €. During 2000–2007, due to extreme weather conditions (drought, frost and hail), the agricultural sector suffered estimated losses of EUR 176 million per annum on average. This is equivalent to 0.6% of GDP or 9.3% of the Gross Value Added (GVA) generated in agriculture, forestry and fisheries".

And again timing is a key issue. As soon as we reach capability to realise the climate change effects before we start feeling it, we can minimise it's negative effects and finally the costs of recovery. There are many "no regrets" mitigation measures that will actually save money and provide an economic benefit to Croatia. Most of these are related to energy efficiency. There are many other measures that will either be cost-neutral or cost a

relatively small amount. Learning and adoption of afordable and real options from examples like Singapore is certainly one of the possible sollutions for Croatia.

CONCLUSION

In the absence of complete information on future climate impacts, there may be value in a philosophical treatment of the climate adaptation problem. Developing adaptive capacity is considered to be part of the philosophy and discipline of interdisciplinary, including the use of phenomenology (what differences make a difference), epistemology (what we know and what we don't know we know), hermeneutics, heuristics, language, meaning (including topology and meaning of place), bias, understanding, values and choice, in order to frame no regret decisions, as real options for deployment of adaptive capital;

Historically science has occasionally turned to philosophy in times of crisis to overthrow out dated paradigms (Goldberg, 2010). In the presence of climate uncertainty and tacit acknowledgement of empirical limits to climate science, it seems only logical that engineering should also be given the opportunity to turn to philosophy in response to the adaptation problem. As a result of the fundamental limitations to climate science's ability to accurately predict our future, one of the challenges for policy makers, public service managers and engineers may be to reconcile two distinct and possibly opposing philosophies, namely:

The route to a more certain climate future in order to establish engineering requirements through empirical science, modelling and better precision in climate prediction; and

The route to building adaptive capital by framing 'no regret decisions' as the use of flexible, modular architectures of climate resilient artefacts for adaptation, using real options in the presence of significant residual uncertainty;

The former is entrenched in the philosophy of science: the latter is arguably more closely aligned with the philosophies of technology and engineering.

How can we explore the values, knowledge, phenomenology, ontology, behaviour and natural language of adaptive engineering in the decision making process. A process that is likely to be embedded in a National political system, polycentric forms of public governance and compound governance structures (Toonen, 2010). Increasing attention is being paid to the undeveloped area of engineering philosophy, as opposed to the philosophy of technology (Goldberg, 2010; The Royal Academy of Engineering, 2010). The philosophy of engineering is considered to be a useful domain through which to inform the idea of adaptive capacity for the deployment of adaptive capital (aggregated use of climate proof artefacts within portfolios of real options). This may involve the co-evolution of adaptive governance, engineering leadership and societal mobilization through a process of reform (Brunner, 2010).

The climate adaptation problem is considered to be an emerging whitespace for engineering philosophy and the development of philosophy for engineering: space in which the philosophy of engineering illuminates' climate transition management; engineering leadership; and approaches to discovering adaptive capacity through language within organizations and networks. The need to engage engineers in philosophy is considered to be an important aspect of empowering engineering leadership to address the reach and depth of the adaptation problem. The use of philosophy for engineering, once focussed on the

climate adaptation problem, may illuminate questions and methods that are fundamental to engineers engaged in climate change:

What is a climate proof artefact?

How do you design climate proof artefacts?

How do you elicit latent knowledge of local resilience in governance networks?

How do you engineer on the basis of taking no-regret-decisions?

How do you leverage the value of flexibility using blue prints for adaptive capacity?

How are real options configured and deployed as adaptive capital?

By coupling "*what engineering things are*" with "*what engineers do*" and '*what policy makers want'* it may be easier to understand "*what information is required*" in order to know "*when public service managers should deploy*" portfolios of climate proof artefacts as real options for building climate resilience.

Bibliography

[1] AMA. (2010). *Workshop on Sociological Perspectives on Global Climate Change.* Washington DC: National Science Foundation, American Sociological Association.

[2] Brunner, R. D. (2010). Adaptive Governance as a Reform Strategy. *Policy and Science, Volume 43* , 43:301–341.

[3] Buckley, M., & Stammnitz, V. (Unknown). *Decision Oriented Systems Engineering (DOSE) - A structured Systematic Approach to Function Allocation.* Arlington, USA: BMT Syntek Technologies Inc.

[4] Cabinet Office UK HM Treasury. (2007, Autumn 2006). *Stern Review on the Economics of Climate Change.* (N. Stern, Ed.) Retrieved December 29th December 2010, 2010, from The National Archives: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http:/www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

[5] Goldberg, D. E. (2010). Why Philosophy? Why Now? Engineering Responds to the Crisis of a Creative Era. In I. van de Poel, & D. E. Goldberg, *Philosophy of Engineering, An Emerging Agenda* (pp. 255 - 263). New York & London: Springer Dordrecht Heidelberg.

[6] IPCC Working Group III. (2007). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

[7] Meadowcroft, J. (2009, May 1st). *World Bank.* Retrieved January 11th, 2011, from Climate Change Governance: http://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/4941.html

[8] Osborne, S. P. (2010). *The New Public Governance? Emerging Perspectives on the Theory and Practice of Public Governance.* Milton Park, Abingdon, Oxon, UK.: Routledge, Tayloe and Francis Group.

[9] Royal Academy of Engineering. (2002, January). *The Societal Aspects of Risk.* Re-

trieved January 1, 2011, from www.raeng.org.uk: http://www.raeng.org.uk/news/publications/list/reports/The_Societal_Aspects_of_Risk.pdf

[1] Toonen, T. (2010). Resilience in Public Administration: The Work of Elinor and Vincent Ostrom from a Public Administration Perspective. *Public Administration Review* , 193-202.

AUTORI

Mark Womersley [1]
Bozidar Deduš [2]
Vladan Babović [1]
Joost Buurman [1]

[1] Singapore-Delft Water Alliance, National University of Singapore, EW1 #02-05, 2 Engineering Drive 2, Singapore

[2] Proning dhi d.o.o. Zagreb, Račkoga 3 / Preradovićeva 8, Hrvatska

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE PRED IZAZOVOM KLIMATSKIH PROMJENA
OPATIJA 18. - 21. SVIBNJA 2011.

R 4.11.

SPEKTRALNA ANALIZA POVRŠINSKIH VALOVA UZROKOVANIH VJETROM U SJEVERNOM JADRANU

Hrvoje Mihanović, Marko Mlinar, Srđan Čupić, Nenad Domijan, Nenad Leder, Zvonko Gržetić

SAŽETAK: Mjerenje površinskih valova uzrokovanih vjetrom u istočnom dijelu Jadrana odvija se već dulje od trideset godina, no uglavnom je bilo temeljeno na korištenju nedirekcionih valografa. Nakon relativno duljeg razdoblja u kojem nije bilo dugoročnih mjerenja površinskih valova, Hrvatski hidrografski institut 2007. godine počinje s mjerenjima valova uporabom direkcionih valografa tvrtke Datawell (uređaj tipa DWR-MkIII, promjera plutače 0.7 m). U ovom radu je prikazana analiza karakterističnih situacija s ekstremnim visinama valova zabilježenima iz različitih smjerova, na valografu usidrenom u blizini platforme IVANA-A (oko 44 km u smjeru WSW od Pule). Maksimalna visina valova zabilježena tijekom puhanja juga je bila 8.53 m (29. ožujka 2009.), a tijekom puhanja bure 5.09 m (16. prosinca 2007.). Uz analizu statističkih parametara površinskih valova tijekom navedenih epizoda, bit će dana i spektralna analiza valova kroz vrijeme, te direkciona spektralna analiza u razdobljima kada su zabilježene ekstremne valne visine. Direkciona spektralna analiza predstavlja sve češće korištenu metodu proučavanja valnih karakteristika u oceanografiji i pomorskom inženjerstvu. Ona omogućuje određivanje smjera iz kojeg dolaze valovi te energiju i frekvenciju valova tijekom analiziranih epizoda. Poznavanje ovih parametara izuzetno je važno za sigurnost plovidbe, hidrotehničke radove na moru, zaštitu postojećih obalnih struktura (obalno inženjerstvo) te ribarstvo, marikulturu i ekologiju.

KLJUČNE RIJEČI: površinski valovi, vjetar, spektralna analiza, direkcioni spektar, Jadran

SPECTRAL ANALYSIS OF WIND SURFACE WAVES IN THE NORTHERN ADRIATIC

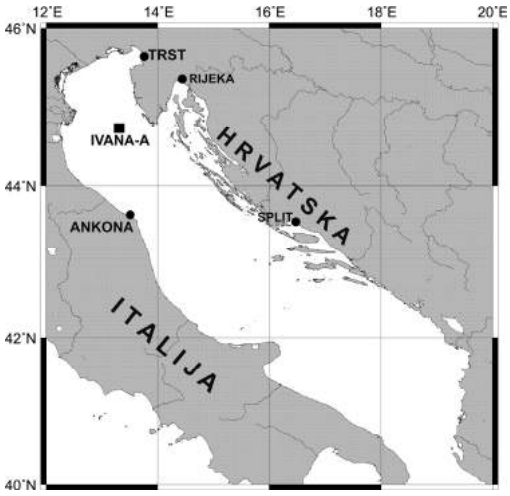
ABSTRACT: Wind-generated surface waves have been studied for more than thirty years in the eastern part of the Adriatic, but mostly using non-directional wave buoys. After a relatively long period without long-term measurements, Hydrographic Institute of the Republic of Croatia acquired a set of modern directional waveriders manufactured by Datawell (instrument type DWR-MkIII, with a 0.7 diameter buoy). An analysis of several characteristic episodes with extreme wave heights observed for different wave directions

at waverider station moored close to IVANA-A platform (about 44 km WSW of Pula) will be presented here. Maximum wave height observed during an intense Sirocco episode was 8.53 m (29 March 2009), and during a Bora episode 5.09 m (16 December 2009). Besides statistical analysis, omni-directional spectral analysis and directional spectral analysis will also be given for intervals with extreme wave heights. Directional spectral analysis represents a very important method used in oceanography and marine engineering. It enables to resolve the incoming direction, energy and frequency distribution of surface waves during the analyzed episodes. The understanding of these parameters is important for the safety of navigation, hydro-technical projects at sea, the protection of existing coastal structures (coastal engineering), fisheries, mariculture and ecology.

KEYWORDS: surface waves, wind, spectral analysis, directional spectrum, Adriatic

1. UVOD

Prva instrumentalna mjerenja površinskih valova uzrokovanih vjetrom na istočnoj obali Jadrana započela su 1967. godine i bila su temeljena na kratkotrajnim opažanjima (Tabain, 1997). Dugotrajna mjerenja organizirana su tijekom sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog stoljeća kada su izabrane tri lokacije na kojima su valografi bili usidreni na otvorenom Jadranu: jugoistočno od svjetionika Sv. Andrija u blizini Dubrovnika i blizu otoka Palagruže u srednjem Jadranu (Smirčić, 1985) te u području plinskih polja IKA i IVANA u sjevernom Jadranu (Leder i drugi, 1998). Visine valova zapisivane su analogno u sinoptičkim intervalima (01, 04, 07 h…), a istovremenu su kontinuirano mjereni brzina i smjer vjetra. Analiza valnih visina mjerenih na navedenim lokacijama omogućila je izračun statističkih parametara površinskih valova uzrokovanih vjetrom, kao i istraživanje valnih spektara (Smirčić, 1989) te određivanje maksimalnih valnih visina. Tako je tijekom veljače 1986. godine u sjevernom Jadranu zabilježena i maksimalna visina vala uopće za Jadransko more i iznosila je 10.8 m tijekom dugotrajne epizode orkanskog juga. Primjenom teorije ekstrema, Leder i drugi (1998) su procijenili da maksimalna visina vala u sjevernom Jadranu može doseći 14 m za povratni period od 100 godina.



Slika 1.
Pozicija plinske platforme IVANA-A kod koje je od rujna 2007. do svibnja 2010. bio usidren direkcioni valograf. Naznačene su i pozicije s mjerenjima vjetra (Trst i Ankona).

Valografi korišteni u navedenim istraživanjima nisu imali mogućnost određivanja smjera valova. Procesi generiranja površinskih valova povezivani su s podacima istovremenih mjerenja vjetra te općenitom sinoptičkom situacijom na Jadranu. Tijekom proteklih nekoliko godina Hrvatski hidrografski institut (HHI) je osuvremenio oceanografsku opremu koja se koristi za mjerenje površinskih valova, nabavkom digitalnih valografa tvrke DATAWELL (Nizozemska). Osim mjerenja visina valova i digitalnog spremanja kontinuiranih mjerenja, ti uređaji omogućavaju i određivanje smjera valova. Jedan takav uređaj je bio postavljen u blizinu plinske platforme IVANA-A u sjevernom Jadranu (Slika 1.) u razdoblju između rujna 2007. i svibnja 2010. godine (uz prekid mjerenja tijekom veljače i ožujka 2008.). U ovom radu će biti prikazani rezultati mjerenja tijekom mjeseci u kojima si zabilježene ekstremne visine valova. Podaci i metode korištene u radu su opisani u poglavlju 2. Rezultati analize ekstremnih situacija vezanih uz karakterističnе olujne vjetrove na Jadranu su prikazani u 3. poglavlju dok su zaključci dani u 4. poglavlju rada.

2. PODACI I METODE

Novija instrumentalna mjerenja površinskih valova uzrokovanih vjetrom u sjevernom Jadranu započela su u rujnu 2007. godine korištenjem DATAWELL MkIII valografa promjera plutače 0.7 m, koji omogućava godinu dana kontinuiranih mjerenja. Uređaj je opremljen prijemnikom koji omogućava radijsku vezu u rasponu do 50 km. Pozicija valografa prati se pomoću GPS uređaja koji olakšava i pronalazak plutače u slučaju gubitka ili promjene položaja. Podaci se kontinuirano bilježe na integriranoj memorijskoj kartici, a pristup podacima je moguć preko GSM i radijske veze. Na vrhu antene ugrađeno je LED svjetlo koje povećava vidljivost plutače na moru, a na dnu plutače se nalazi i temperaturni senzor koji kontinuirano mjeri površinsku temperaturu mora (na dubini od oko 0.4 m). Valograf ima raspon mjerenja od ±20 m i točnost od 0.5% u odnosu na izmjerenu visinu (nakon kalibracije). Može mjeriti periode između 1.6 i 30 s, dok je greška u određivanju smjera oko 0.5°.

Osnovni vremenski korak zapisivanja podataka iznosi 30 minuta. Tijekom tog razdoblja se izračunava 8 spektara za intervale od po 200 sekunda (s frekvencijom mjerenja od 1.28 Hz). Spektri se zatim usrednjavaju i na kraju intervala dostupni su spektralni parametri za polusatni period (energija valova i smjer valova po frekvencijama), kao i sva vertikalna i horizontalna gibanja plutače. Tijekom tridesetminutnih mjerenja određuju se parametri maksimalne visine vala, značajne visine valova, smjera valova (definiranog po meteorološkoj konvenciji – označava smjer iz kojeg valovi dolaze) te perioda valova. Značajna visina valova otprilike predstavlja visinu valova koju na površini uočava uvježban promatrač, a određuje se iz standardne devijacije denivelacija površine u zadanom razdoblju prema izrazu (1) (Stewart, 2007):

$$H_{m_0} = 4\sqrt{m_0}\,, \tag{1}$$

gdje je m_0 nulti moment. Budući da direkcioni valograf mjeri pomake plutače u tri smjera (vertikalni pomak plutače te njeno gibanje u horizontalnoj ravnini), moguće je izračunati i direkcioni spektar, odnosno odrediti polarnu razdiobu gustoće energije po frekvencijama i smjerovima iz kojih dolaze valovi. U ovom radu korišten je MATLAB DIWASP 1.3

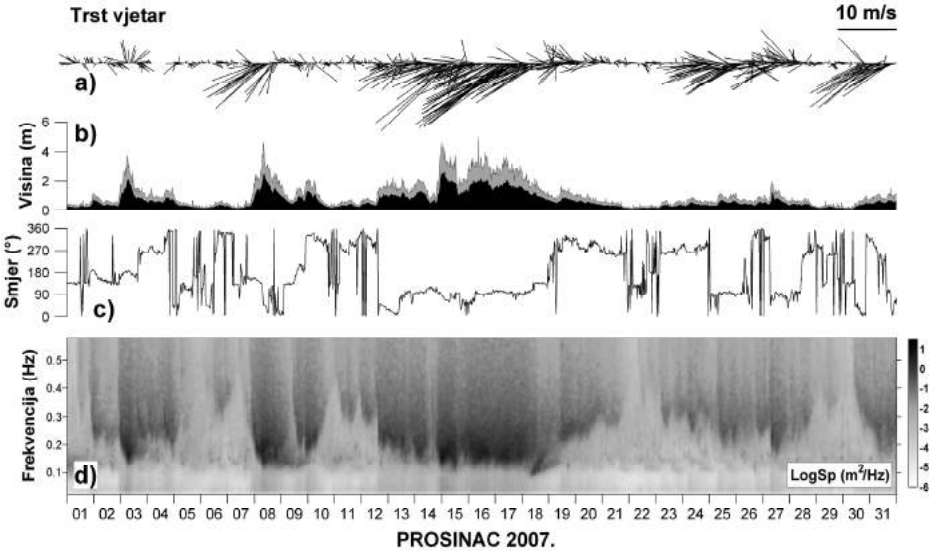
programski paket (Johnson, 2002), koji se temelji na analizi koju su opisali Longuet-Higgins i drugi (1963). Direkcioni spektri za epizode u kojima su zabilježene maksimalne valne visine izračunati su primjenom proširene metode maksimalne vjerojatnosti (Extended Maximum Likelihood Method – EMLM), prema analizi Isobea i drugih (1984). Ta metoda pruža vrlo dobru procjenu direkcionog spektra, posebno u situacijama relativno uskog spektra valova iz dominantnog smjera.

Epizode opisane u ovom radu određene su iz analize vremenskih nizova polusatnih vrijednosti maksimalnih i značajnih visina valova. Na taj način su izdvojena tri mjesečna razdoblja tijekom kojih su opažene situacije s ekstremnim visinama valova (prosinac 2007., te ožujak i listopad 2009.). Za cjelokupna mjesečna razdoblje određene su vremensko-frekvencijske razdiobe gustoće spektralne energije, dok je za intervale duge nekoliko sati tijekom epizoda razvijenih površinskih valova izračunat i direkcioni spektar. Budući da na samoj platformi nisu bila dostupna mjerenja smjera i brzine vjetra, za interpretaciju izdvojenih epizoda korišteni su satni podaci vjetra s talijanskih mareografskih postaja u Trstu i Ankoni (Slika 1).

3. REZULTATI

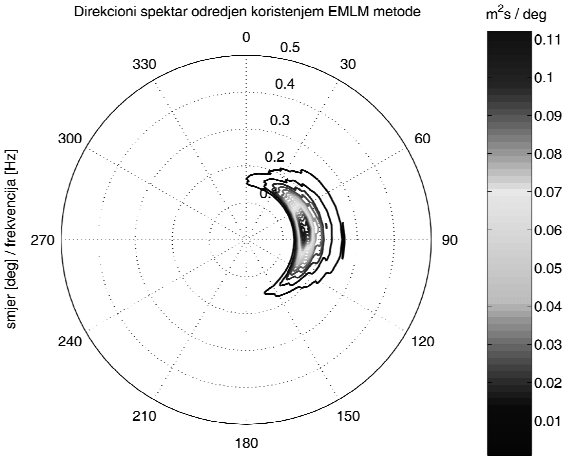
3.1. Prosinac 2007. godine – maksimalne visine valova uzrokovanih burom

U razdoblju između 13. i 18. prosinca 2007. na sjevernom Jadranu zabilježena je jedna od najintenzivnijih epizoda bure tijekom proteklih godina. Satna brzina vjetra u Trstu dosezala je 18.7 m/s (~67 km/h – Slika 2a), a maksimalna visina vala tijekom prosinca je zabilježena 16. prosinca i iznosila je 5.09 m.



Slika 2. a) Satni vektori vjetra na mareografskoj postaji u Trstu za prosinac 2007. b) Značajne visine valova (crno) i maksimalne visine valova (sivo) zabilježene u istom razdoblju na valografu usidrenom kod platforme IVANA-A. c) Smjer iz kojeg su dolazili valovi u navedenom razdoblju. d) Vremensko-frekvencijski prikaz spektra valova.

Na svim slikama je vjetar prikazan u oceanografskoj konvenciji, tako da satni vektori označavaju smjer kamo vjetar puše. Zanimljivo je napomenuti da je tijekom ovog razdoblja bura u podvelebitskom primorju na udare puhala brzinom od 180 km/h. Nad kopnenim područjem je tada bio ogranak anticiklone čije je središte bilo na sjeveru kontinenta, a po visini je u sjevernoj struji pritjecao hladniji zrak (Državni hidrometeorološki zavod, 2008). Dana 15. prosinca je maksimalna visina vala iznosila 4.65 m, no tada je značajna visina valova bila maksimalna za cijelu situaciju i dosezala je 2.5 m (Slika 2b). Dominantan smjer iz kojeg su dolazili najviši valovi bio je između 70 i 100° (~ENE, Slika 2c). Razdioba spektralne energije tijekom analiziranog razdoblja pokazuje da su maksimalne energije valova bile na periodima između 5 i 7 sekunda (Slika 2d). Na slici 3. prikazan je direkcioni spektar za razdoblje između 14.12.2007. u 21 h UTC i 15.12.2007. u 04 h UTC, koji potvrđuje da su maksimalni valovi dolazili iz azimuta oko 80°, te da su imali period od oko 6.4 s.

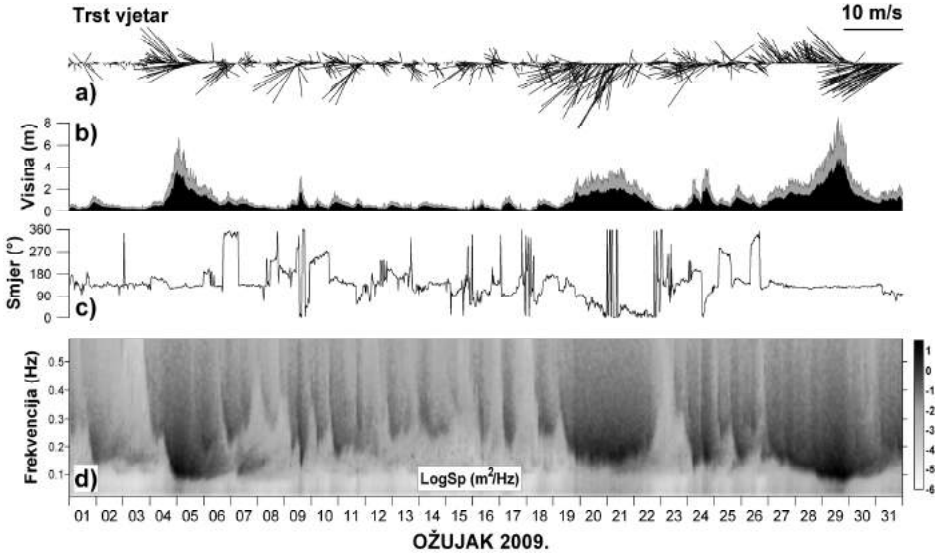


Slika 3. Direkcioni spektar valova za razdoblje između 14.12.2007. u 21 h UTC i 15.12.2007. u 04 h UTC.

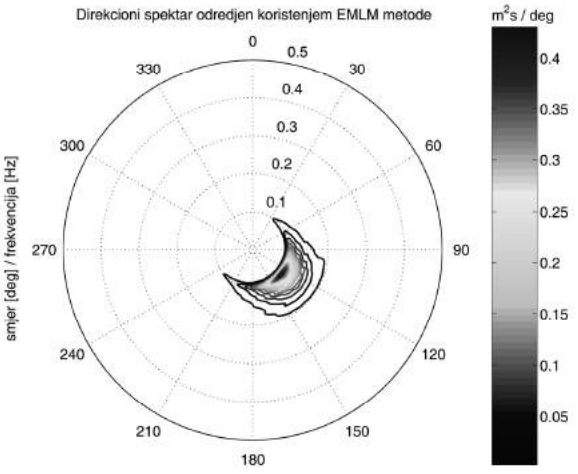
3.2. Ožujak 2009. godine – maksimalne visine valova uzrokovanih jugom

Krajem ožujka 2009. godine su na valografu kod platforme IVANA-A zabilježene maksimalne visine površinskih valova za cijelo razdoblje mjerenja. Dana 29. ožujka maksimalna visina valova je bila 8.53 m, a pripadna značajna visina preko 4.5 m (Slika 4b, c). Sinoptička situacija pokazuje da se tada nad većim dijelom Europe nalazilo ciklonalno polje, a ciklone koje su nastajale u zapadnom Sredozemlju (posebice u području Đenovskog zaljeva) su utjecale na promjenjivo i vjetrovito vrijeme na Jadranu. Olujno jugo je izazvalo brojne probleme u pomorskom prometu, a u Splitu, Šibeniku i Zadru je čak lomilo i stabla (Državni hidrometeorološki zavod, 2009a). Razdoblje s jakim jugom se uočava i na mjerenjima vjetra s mareografske postaje u Trstu (Slika 4a). Vremensko-frekvencijski prikaz spektralne energije za ožujak 2009. (Slika 4d) pokazuje da su najveće energije valova tijekom analizirane epizode bile na periodima od oko 10 sekunda, a valovi su uglavnom dolazili iz azimuta 130° (SE, Slika 4c). Za precizno određivanje direkcionog spektra izdvojeno je razdoblje s maksimalnim visinama valova (29.03.2009. od 10 do 20

h UTC). Na slici 5. se može vidjeti da su valovi najvećih energija dolazili iz smjera SE, te da su imali period oko 10 s. U odnosu na situaciju s burom zabilježenu u prosincu 2007. godine, može se uočiti dulji period površinskih valova uzrokovanih jugom, te oko 4 puta veće maksimalne energije valova.



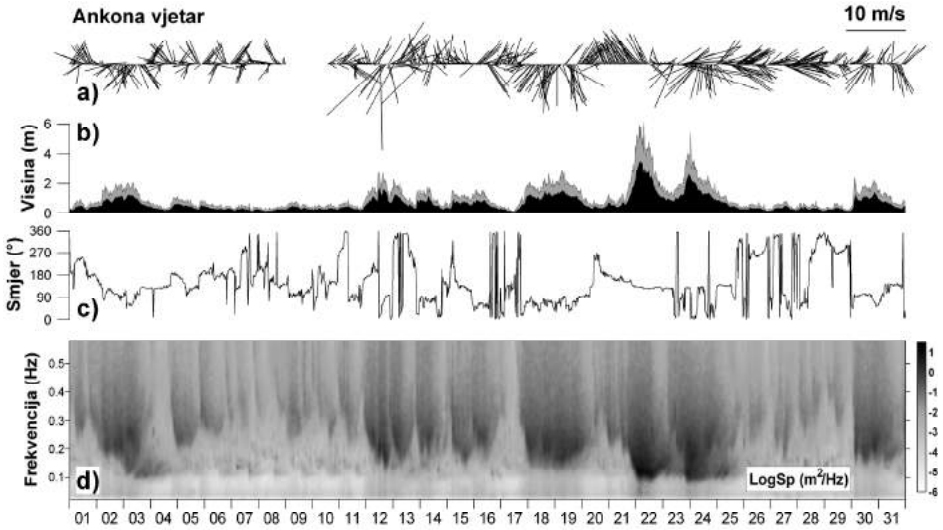
Slika 4. Isto kao na slici 2. za ožujak 2009.



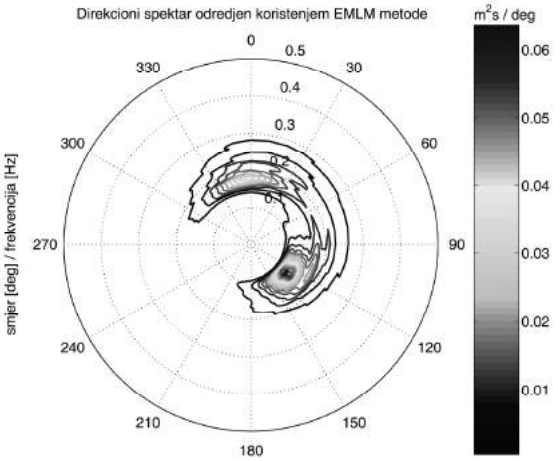
Slika 5. Direkcioni spektar valova za 29.03.2009. između 10 i 20 h UTC.

3.3. Listopad 2009. godine – valovi iz različitog smjera tijekom nagle promjene vjetra

Zanimljiva situacija se dogodila u drugom dijelu listopada 2009. godine. Naime, vjetrovito razdoblje je započelo već oko 17. listopada, pa je između 17. i 20. listopada na Jadranu puhala umjerena i jaka bura (Slika 6a), a dana 21. listopada je zatoplilo uz jačanje južnog i jugozapadnog vjetra. Zatim je 22. listopada zabilježeno jako jugo, uslijed ciklone na Tirenskim morem i sekundarne ciklone koja se produbila nad srednjim Jadranom. Na južnom Jadranu jugo je 22. i 23. listopada bilo olujno, a na udare i orkansko (Državni hidrometeorološki zavod, 2009b). Pred kraj 23. listopada je došlo do nagle promjene smjera vjetra na sjevernom Jadranu uslijed prolaska ciklone preko srednjeg Jadrana, pa su na sjevernom i dijelu srednjeg Jadrana zapuhali jaka bura i tramontana. Za epizode juga 22. listopada zabilježena je maksimalna visina valova od 6.14 m, no valovi su opet počeli rasti u noći između 23. i 24. listopada (maksimalna visina 5.41 m), kada je došlo i do nagle promjene smjera vjetra. Ta promjena se odrazila i na smjer valova, koji su prvo dominantno dolazili iz smjera oko 130°, a zatim iz smjera sjevera (azimut oko 5°, slika 6c). Stoga se ova situacija pokazala posebno zanimljivom za izračun direkcionog spektra u razdoblju između 23.10.2009. u 20 h UTC i 24.10.2010. u 05 h UTC. Direkcioni spektar je prikazan na slici 7. gdje se mogu vidjeti dva maksimuma energije. Glavni maksimum zabilježen je na periodu oko 9 s i iz smjera SE (azimut oko 130°), dok je sekundarni maksimum imao period oko 5.9 s i valovi su uglavnom dolazili iz azimuta između 350 i 0°. Glavni maksimum odgovara površinskim valovima uzrokovanim jugom, koji su bili posebno izraženi na početku situacije. Zatim su u drugom dijelu epizode ti valovi bili ukrižani sa sekundarnim valovima iz smjera sjevera koji su izmjereni tijekom i nakon promjene smjera vjetra.



Slika 6. Isto kao na slici 2. za listopad 2009. (i vjetar u Ankoni).



Slika 7. Direkcioni spektar valova za razdoblje između 23.10.2009. u 20 h UTC i 24.10.2010. u 05 h UTC.

ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana analiza nekoliko situacija s ekstremnim visinama valova zabilježenima na valografu usidrenom u blizini platforme IVANA-A (oko 44 km u smjeru WSW od Pule). Izdvojene su dvije epizode vezane uz karakteristične olujne vjetrove u analiziranom akvatoriju. Tako je tijekom puhanja orkanske bure sredinom prosinca 2007. maksimalna visina valova iznosila 5.09 m, a za vrijeme olujnog i orkanskog juga krajem ožujka 2009. visina valova dosezala je 8.53 m. Isto tako je analizirana i situacija ukrižanog mora u listopadu 2009. godine, kada su u razdoblju od nekoliko sati na valografu uočeni valovi iz dva različita smjera. Uz analizu spektara energije valova u vremensko-frekvencijskoj domeni, prikazani su i direkcioni spektri za sve tri situacije, budući da je korišteni valograf omogućavao mjerenje visine i smjera valova. Površinski valovi uzrokovani burom odnosno jugom su jasno uočeni na odgovarajućim direkcionim spektrima. Izračun ovih spektara omogućio je i razlučivanje dominantnih smjerova valova tijekom epizode s naglom promjenom smjera puhanja vjetra (listopad 2009.). Određivanje smjera iz kojeg dolaze valovi te energije i frekvencije valova primjenom direkcione spektralne analize predstavlja značajan doprinos u proučavanja valnih karakteristika u oceanografiji i pomorskom inženjerstvu, te se sve više koristi u osiguranju sigurnosti plovidbe, kao i za hidrotehničke radove na moru, zaštitu postojećih obalnih struktura (obalno inženjerstvo) te ribarstvo, marikulturu i ekologiju.

LITERATURA

[1] Državni hidrometeorološki zavod (2008): *Meteorološki i hidrološki bilten 12/2007*, DHMZ, Zagreb, 52 pp.

[2] Državni hidrometeorološki zavod (2009a): *Meteorološki i hidrološki bilten 3/2009*, DHMZ, Zagreb, 47 pp.

[3] Državni hidrometeorološki zavod (2009b): *Meteorološki i hidrološki bilten 10/2009*,

DHMZ, Zagreb, 43 pp.

[4] Stewart, R.H., (2007): *Introduction To Physical Oceanography*, On-line textbook, PDF version, 345 pp.

[5] Isobe, M., Kondo, K. Horikawa, K. (1984): *Extension of MLM for estimating directional wave spectrum*, Proc. Symp. on Description and Modeling of Directional Seas, Paper No.A-6, 15 pp.

[6] Johnson, D., (2002): *DIWASP, a directional wave spectra toolbox for MATLAB®: User Manual*. Research Report WP-1601-DJ (V1.1), Centre for Water Research, University of Western Australia, 19 pp.

[7] Leder, N., Smirčić, A., Vilibić, I., (1998): *Extreme values of surface wave heights in the northern Adriatic*, Geofizika, 15, 1-13.

[8] Longuet-Higgins, M.S., Cartwright, D.E., Smith, N.D. (1963): *Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy*, Ocean Wave Spectra, Prentice-Hall, New Jersey, 111-136.

[9] Smirčić, A., (1985): *Površinski valovi otvorenog Jadrana uzrokovani vjetrom u vidu prirodnogeografskih svojstava*, Doktorska disertacija, Ljubljana, 145 pp.

[10] Smirčić, A., (1989): *Spektralne karakteristike vjetrovnih površinskih valova u sjevernom Jadranu*, Mornarički glasnik, 1010–1025.

[11] Tabain, T., (1997): *Standard wind wave spectrum for the Adriatic Sea revisited (1977-1997)*, Brodogradnja, 45, 303-313.

AUTORI

dr. sc. Hrvoje Mihanović [a]
Marko Mlinar, dipl. ing. [a]
Srđan Čupić, prof. [a]
dr. sc. Nenad Domijan [a]
doc. dr. sc. Nenad Leder [a]
doc. dr. sc. Zvonko Gržetić [a]

[a] Hrvatski hidrografski institut, Zrinsko-Frankopanska 161, 21000 Split, Republika Hrvatska, hrvoje.mihanovic@hhi.hr

KAZALO AUTORA

Broj	autor	rad	stranica
A			
1	R 2.03.	Ahatović Irvin	719
2	R 3.03.	Ambrenac Jelena	959
3	R 1.19.	Andreić Željko	249
4	R 1.29.	Antolić Jasmina	341
5	R 1.21.	Antonelli Francesca	267
6	R 1.31.	Aufleger Markus	359
B			
7	R 2.17.	Babić Marijan	869
8	R 4.10.	Babović Vladan	1231
9	R 1.49.	Bačani Andrea	531
10	R 2.16.	Bajčetić Marko,	855
11	R 1.60.	Bajić Alica	639
12	R 1.37.	Barač Branimir	411
13	R 1.25.	Barbalić Darko	305
14	R 1.26.	Barbalić Darko	315
15	R 1.27.	Barbalić Darko	325
16	R 1.28.	Barbalić Darko	333
17	R 1.54.	Barbalić Darko	581
18	P 03.	Barbalić Sanja	53
19	R 1.28.	Barbalić Sanja	333
20	R 1.54.	Barbalić Sanja	581
21	R 2.05.	Barbalić Sanja	739
22	R 1.61.	Bekić Damir	647
23	R 2.14.	Bekić Damir	831
24	R 2.08.	Benac Čedomir	771
25	R 4.07.	Beović Branka	1205
26	R 1.01.	Beraković Boris	79
27	R 2.03.	Beraković Boris	719
28	R 1.01.	Beraković Marija	79
29	R 1.09.	Bezdan Atila	155
30	R 3.13.	Bilajac Lovorka,	1049
31	R 1.44.	Biondić Božidar	479
32	P 02.	Biondić Danko	39
33	P 03.	Biondić Danko	53
34	R 2.13.	Biondić Danko	825
35	R 1.44.	Biondić Ranko	479
36	R 1.07.	Blagojević Borisava	135
37	R 1.62.	Bogner Danijela	655
38	R 3.05.	Bojanić Fani	977
39	R 1.62.	Bojanić Natalija	655
40	R 2.21.	Boldyrev Andrej	905
41	R 1.53.	Borović Staša	573
42	R 2.16.	Bošnjak Biljana	855
43	P 04.	Bošnjak Tomislava	6
44	R 1.05.	Bošnjak Tomislava	119
45	R 2.16.	Božić Mile	855
46	R 4.09.	Božić Vlado	1221
47	R 1.41.	Brajković Anita	447
48	R 2.12.	Brajković Anita	815
49	P 04.	Branković Čedo	65
50	R 3.15.	Brajković Marko,	1073
51	R 1.04.	Branković Čedo	109
52	R 1.06.	Branković Čedo	129
53	R 2.02.	Brezak Silvio	709
54	R 1.15.	Brilly Mitja	207
55	R 1.16.	Brilly Mitja	215
56	R 2.23.	Brkić Ivan,	929
57	R 1.36.	Brkić Željka	403
58	R 2.02.	Brnić-Levada Nives	709
59	R 4.07.	Bučo-Smajić Aida,	1205
60	R 1.13.	Budišić Dražen	185
61	R 1.29.	Bujas Neven	341
62	R 1.63.	Bura-Nakić Elvira	665
63	R 4.10.	Buurman Joost	1231
63	R 1.52.	Buzjak Nenad	561
C			
64	R 1.61.	Carević Dalibor	647
65	R 2.19.	Carević Ivana	883
66	R 3.09.	Carević Toni	1011
67	R 1.63.	Ciglenečki Irena	665

68 R 1.08. Cindrić Ksenija 145
69 R 2.21. Chernenko Vladimir, 905
70 R 1.32. Crnojević Helena 371
71 R 1.64. Crnojević Helena 673
72 R 4.05. Crnković Boris 1181

Ć

73 R 2.11. Ćerić Admir 803
74 R 3.15. Ćosić-Flajsig Gorana, 1073
75 R 3.19. Ćosić-Flajsig Gorana 1117
76 R 1.11. Ćosović Božena 169
77 R 1.39. Ćuk Renata 429
78 R 1.64. Ćuk Renata 123
79 R 1.43. Čupić Daria 469
80 R 1.51. Ćuzela- Bilać Dušanka 551

Č

81 R 1.22. Čarman Samo 207
82 R 1.15. Čotar Anton 207
83 R 1.55. Čupić Srđan 593
84 R 4.11. Čupić Srđan 1244

D

85 R 1.56. Dadić Vlado 601
86 R 1.57. Dadić Vlado 609
87 R 1.38. Dalmacija Božo 419
88 R 1.38. Dalmacija Milena 419
89 R 1.11. Dautović Jelena 169
90 R 4.10. Deduš Božidar 1231
91 R 3.11. Dobrović Slaven, 123
92 R 1.55. Domijan Nenad 593
93 R 4.11. Domijan Nenad 1244
94 R 1.57. Došen Melita 609
95 P 01. Drmić Ružica 123
96 R 2.13. Drmić Ružica 825
97 R 1.46. Dumitrica Cristina 501

Dž

98 R 3.11. Džeko Alen 1031

Đ

99 P 02. Đuroković Zoran 39
100 R 2.02. Đuroković Zoran 709

E

101 R 3.06. Ecimović Tanja, 985
102 R 1.46. Enciu Petru 501
103 R 2.21. Endovitsky Anatolij 905

F

104 R 1.24. Filipović Mira 295
105 R 1.26. Filipović Mira 315
106 R 1.54. Filipović Valerija 581
107 R 1.41. Filipović Vilim 447
108 R 1.42. Filipović Vilim 459
109 R 1.59. Furlan Nikolina 631
110 R 1.12. Furlan Nikolina 177

G

111 R 1.41. Galiot Marinko 447
112 R 2.12. Galiot Marinko 815
113 R 2.13. Galiot Marinko 825
114 R 2.17. Galiot Marinko 863
115 R 1.04. Gajić-Čapka Marjana 109
116 R 1.08. Gajić-Čapka Marjana 145
117 R 1.38. Gavrilović Olivera 419
118 R 2.05. Gecan Nataša 739
119 R 1.61. Gilja Gordon 647
120 R 2.07. Gjetvaj Goran 761
121 R 2.12. Glavaš Berislav 815
122 R 1.15. Globevnik Lidija 207
123 R 1.12. Gobin Ivana 177
124 R 1.64. Grabar Ivan 673
125 R 1.60. Grbec Branka 639
126 R 1.35. Grgurovac Anamarija 395
127 R 1.55. Gržetić Zvonko 593
128 R 4.11. Gržetić Zvonko 1244
129 R 3.05. Grizelj Šimić Vesna 977
130 R 4.01. Gudelj Ivana 123
131 P 04. Güttler Ivan 65
132 R 1.04. Güttler Ivan 109
133 R 1.06. Güttler Ivan 129

H

134	R 1.02.	Halkijević Ivan	89
135	R 3.10.	Halikjević Ivan	123
136	R 1.41.	Holjević Danko.	123
137	R 2.12.	Holjević Danko	815
138	R 2.13.	Holjević Danko	825
139	R 2.14.	Holjević Danko	831
140	R 2.17.	Holjević Danko	863
141	R 1.05.	Horvat Bojana	119
142	R 3.16.	Hrenović Jasna	1087
143	R 4.01.	Hrenović Jasna,	123
144	R 1.50.	Hunjak Tamara	541
145	P 02.	Husarić Jadranko	39

I

146	R 1.07.	Ilić Aleksandra	135
147	R 2.08.	Ilić Suzana	771
148	R 1.57.	Ivanković Damir	609
149	R 1.18.	Ivanković Ivana	237
150	R 3.16.	Ivanković Tomislav	1087

J

151	R 3.07.	Jelić Luka,	995
152	R 2.15.	Josipović Marko	843
153	R 2.22.	Josipović Marko	917
154	R 2.23.	Josipović Marko	929
155	R 2.17.	Juračak Josip	863
156	R 1.08.	Juras Josip	123
157	R 3.17.	Jukić Ante	1097
158	R 1.57.	Juren Anica	609

K

159	R 2.21.	Kalinitchenko Valery	905
160	R 4.03.	Karleuša Barbara	1161
161	R 3.01.	Kartelo Robert	939
161	R 3.04.	Kartelo Robert	967
162	R 1.31.	Klar Robert	359
163	R 1.41.	Klarić Marko	447
164	R 3.12.	Kollar Robert	1039
165	R 1.45.	Kopač Irena	491
166	R 1.26.	Kordej De Villa Željka	315
167	R 2.13.	Kos Elizabeta	825
168	R 1.52.	Kovač-Konrad Petra	123
169	R 1.12.	Kovačević Nikolina	177
170	R 1.53.	Kovačić Miron	573
171	R 1.11.	Kozarac Zlatica	169
172	R 2.09.	Kozelj Daniel	781
173	R 2.15.	Kraljičak Željko	843
174	R 1.13.	Kratofil Lidija	185
175	R 1.14.	Kratofil Lidija	195
176	R 1.38.	Krčmar Dejan	419
177	R 2.23.	Krizmanić Goran,	929
178	P 01.	Krmek Zdravko	23
179	R 1.62.	Krstulović Nada	655
180	R 1.36.	Kuhta Mladen	359
181	R 1.21.	Kupusović Esena	267
182	R 2.19.	Kunštek Duška	123
183	R 1.03.	Kuschnig Gerhard	99
184	R 1.30.	Kušpilić Grozdan	349
185	R 1.56.	Kušpilić Grozdan	601
186	R 1.62.	Kušpilić Grozdan	655
187	R 1.61.	Kuspilić Neven	647
188	R 1.58.	Kutle Marinka	621
189	R 1.64.	Kwokal Željko	673

L

190	R 1.48.	Larva Ozren	521
191	R 1.42.	Likso Tanja	459
192	R 1.12.	Linšak Željko	177
193	R 2.22.	Liović Ivica	123
194	R 1.54.	Leder Nenad	581
195	R 4.11.	Leder Nenad	1244
196	R 1.55.	Leder Nenad	593
197	R 1.50.	Lenac Danijela	541
198	R 1.51.	Lenac Danijela	551
199	R 1.59.	Lušić Dražen	631
200	R 1.03.	Lukšić Mojca	99
201	R 3.02.	Lukšić Mojca	949
202	R 2.11.	Lukovac Nijaz	123

LJ

203	R 3.11.	Ljubas Davor,	1031
204	R 2.08.	Ljutić Kristijan	771

M

205 R 1.32. Maldini Krešimir 123
206 R 1.64. Maldini Krešimir 123
207 R 1.32. Maldini Sanja 371
208 R 1.33. Maldini Sanja 379
209 R 1.11. Malinarić Mia 169
210 R 3.08. Malus Davor 123
211 R 3.10. Malus Davor 123
212 R 1.50. Mance Diana 541
213 R 2.04. Marasović Marijan 727
214 R 1.63. Marguš Marija 665
215 R 1.30. Marijanović Rajčić Marija 349
216 R 1.32. Marijanović Rajčić Marija 371
217 R 1.33. Marijanović Rajčić Marija 379
218 R 1.56. Marijanović Rajčić Marija 601
219 R 1.64. Marijanović Rajčić Marija 673
220 R 1.53. Marković Izidora 573
221 R 2.15. Marković Monika 843
222 R 2.22. Marković Monika, 917
223 R 2.23. Marković Monika 929
224 R 1.48. Marković Tamara 123
225 R 2.20. Markoski Mile 895
226 R 2.14. Marušić Josip 831
227 R 2.15. Marušić Josip 843
228 R 4.02. Marušić Josip 1149
229 R 2.12. Marušić Josip 815
230 R 1.35. Marija Šperac 123
231 R 1.62. Matijević Slavica 655
232 R 1.44. Meaški Hrvoje 479
233 R 1.25. Medić Đorđa 305
234 R 1.28. Medić Đorđa 333
235 R 1.29. Medić Đorđa 123
236 R 1.51. Mićović Vladimir 123
237 R 1.59. Mićović Vladimir 631
238 R 1.08. Mihajlović Domagoj 145
239 R 1.30. Mihaljević Zlatko 349
240 R 1.39. Mihaljević Zlatko 123
241 R 4.11. Mihanović Hrvoje 1244
242 R 3.07. Mihelčić Dragutin 995
243 R 1.25. Miholić Tina 305
244 R 1.27. Miholić Tina 325
245 R 1.03. Miko Slobodan 99
246 R 3.20. Mikulić Nenad 1131
247 R 1.32. Milović Simana 371
248 R 1.42. Minkina Tatiana 359
249 R 2.21. Minkina Tatiana, 905
250 R 1.08. Mihajlović Domagoj 145
251 R 1.55. Mihanović Hrvoje 593
252 R 1.47. Mihovilović Milan 511
253 R 2.18. Mihalić Fabris Ivana 123
254 R 1.32. Milović Simana 371
255 R 2.20. Mitkova Tatjana, 123
256 R 1.57. Mladinić Biserka 609
257 R 1.64. Mlakar Marina 673
258 R 1.55. Mlinar Marko 593
259 R 4.11. Mlinar Marko 1244
260 R 1.60. Morović Mira 639
261 R 1.48. Mraz Vinko 521
262 R 1.33. Mrvčić Jasna 379
263 R 1.41. Mustać Ivan 447
264 R 2.09. Müller Matej 781
265 R 2.10. Müeller Matej 789

N

266 R 3.12. Nađ Karlo 1039
267 R 1.62. Ninčević Živana 655
268 R 2.09. Novak Gorazd 781
269 R 2.10. Novak Gorazd 789

O

270 R 2.17. Obarčanin Enes 863
271 P 02. Obrdalj Mario 39
272 R 2.05. Obrdalj Mario 739
273 R 2.03. Ocvirk Eva 123
274 R 1.09. Ondrašek Gabrijel 155
275 R 1.11. Orlović-Leko Palma 169
276 R 1.42. Orlović-Leko Palma 459
277 R 3.12. Oreščanin Višnja, 123
278 R 1.17. Ožanić Nevenka 225
279 R 4.03. Ožanić Nevenka 1161

P

280 R 1.20. Palijan Goran 259
281 P 04. Patarčić Mirta 65

282 R 1.06. Pataračić Mirta 129
283 R 2.01. Pavlin Željko 697
284 R 4.05. Pejak Vedran 1181
285 R 1.59. Pešut Denis 631
286 R 1.41. Petošić Dragutin 447
287 R 1.18. Petričec Mladen 237
288 R 2.15. Plavšić Hrvoje 843
289 R 2.22. Plavšić Hrvoje 917
290 R 2.23. Plavšić Hrvoje 929
291 R 1.11. Plavšić Marta 169
292 R 2.01. Pletikapić Zlatko 697
293 R 3.06. Polić Dinko 985
294 R 2.16. Potkonjak Svetlana 855
295 R 2.19. Potočki Kristina 83
296 R 4.05. Požega Željko 1181
297 R 1.56. Precali Robert 601
298 R 1.07. Prohaska Stevan 135
299 R 1.59. Pružinec Popović Blanka 631

R

300 R 1.34. Radić Brkanac Sandra 385
301 R 1.37. Radeljak Ivan 411
302 R 2.10. Rak Gašper 789
303 R 2.18. Ravlić Nenad 873
304 R 1.12. Rebić Danica 177
305 R 1.18. Ričković Vedrana 237
306 R 2.06. Romić Davor 749
307 R 4.06. Rozić Željko 1191
308 R 1.50. Roller-Lutz Zvjezdana 541
309 R 1.38. Rončević Srđan 419
310 R 1.05. Rubinić Josip 123
311 R 1.44. Rubinić Josip 479
312 R 1.47. Rubinić Josip 511
313 R 1.50. Rubinić Josip 541
314 R 2.18. Rubinić Josip 873
315 R 3.13. Rukavina Tomislav 1049
316 R 3.18. Rumora Dean, 1107
317 R 4.01. Runko Luttenberger Lidija, 1143
318 R 1.17. Ružić Igor 225
319 R 2.08. Ružić Igor 771
320 R 2.21. Rykhlik Artem 905

S

321 R 1.09. Salvai Atila 155
322 R 1.09. Savić Radovan 155
323 R 1.13. Senić Arijana 185
324 R 1.14. Senić Arijana 195
325 R 1.42. Senta Marić Ankica 459
326 R 4.01. Senta Marić Ankica, 1143
327 R 2.02. Sitar Silvija 709
328 R 2.21. Skovpen Andrej 905
329 R 1.21. Smolar-Žvanut Nataša 267
330 R 1.10. Sokol Jurković Renata 163
331 R 2.21. Solntseva Natalja, 905
332 R 4.08. Sošić Katja 1211
333 R 1.38. Srđan Rončević 419
334 P 04. Srnec Lidija 65
335 R 1.31. Steinbacher Frank 359
336 R 2.05. Steinbauer Miroslav 739
337 R 2.09. Steinman Franci 781
338 R 2.10. Steinman Franci 789
339 R 1.34. Stipaničev Draženka 385
340 R 1.11. Strmečki Slađana 169
341 R 2.22. Sudarić Aleksandra, 917
342 R 1.17. Sušanj Ivana 225
343 R 2.08. Sušanj Ivana 771

Š

344 R 1.22. Šajn Slak Alenka 277
345 R 2.10. Šantl Sašo 789
346 R 1.65. Šebelja Iva 683
347 R 4.01. Šiljeg Mario, 1143
348 R 1.42. Šimunić Ivan 459
349 R 2.21. Šimunić Ivan 905
350 R 1.42. Šimunić Miran 459
351 R 1.03. Širac Siniša 99
352 R 1.30. Širac Siniša 349
353 R 3.15. Širac Siniša 1073
354 R 3.04. Šljivarić Lidija 967
355 R 4.01. Šoljan Vice 1143
356 R 2.15. Šoštarić Jasna 843
357 R 2.22. Šoštarić Jasna 917
358 R 2.23. Šoštarić Jasna, 929
359 R 1.35. Šperac Marija 395
360 R 1.16. Štravs Luka 215
361 R 1.27. Šturlan Popović Sandra 325
362 R 1.30. Šurmanović Dagmar 349
363 R 1.39. Šurmanović Dagmar 429
364 R 1.56. Šurmanović Dagmar 601

365 R 3.09. Švonja Mirjana, 1011
366 R 1.18. Švonja Mirjana 237

T

367 R 1.35. Tadić Lidija 395
368 R 1.03. Terzić Josip 99
369 R 1.05. Terzić Josip 119
370 R 1.33. Tomas Damir 379
371 R 1.42. Tomić Franjo 459
372 R 4.03. Travaš Vanja 1161
373 P 04. Trninić Dušan 123
374 R 1.13. Tusić Vesna 185
375 R 1.14. Tusić Vesna 195

U

376 R 4.08. Uzelac Tatjana, 1211

V

377 R 3.06. Veselčić Marko, 985
378 R 3.09. Vidaković Šutić Renata, 1011
379 R 1.15. Vidmar Andrej 207
380 R 1.16. Vidmar Andrej 215
381 R 3.17. Vidović Elvira, 1097
382 R 3.18. Vizentin Goran 1107
383 R 1.49. Vlahović Tatjana 531
384 R 1.24. Vlašić Alena 295
385 R 3.08. Vouk Dražen 1005
386 R 3.10. Vouk Dražen, 1021
387 R 2.06. Vranješ Mijo 749
388 R 1.33. Vrsalović Marija 379
389 R 1.21. Vučijak Branko 267
390 R 1.39. Vučković Ivan 429
391 R 2.20. Vukelić-Shutoska Marija, 895
392 R 1.51. Vukić Lušić Darija 551
393 R 1.59. Vukić Lušić Darija 631
394 R 1.02. Vuković Živko 89
395 R 3.10. Vuković Živko 1021

Z

396 R 2.11. Zerem Nijaz 803

Ž

397 R 4.04. Zbašnik Snježana 1171
398 R 1.23. Žibrat Damir 287
399 R 1.40. Žibrat Damir 439
400 R 1.17. Žic Elvis 225
401 R 1.63. Žonja Božo 665
402 R 1.19. Žugaj Ranko 249
403 R 1.37. Županić Barbara 411

W

404 R 3.14. Weiss Gebhard 1059
405 R 4.10. Mark Womersley 1231

Voda je dragocjena,
voda određuje bogatstvo naroda.

HRVATSKE VODE

hidroinženiring
Podružnica Zagreb

Sjedište osnivača: Slovenčeva 95, SI-1000 Ljubljana

Sjedište podružnice: **Rudeška cesta 240, HR-10000 Zagreb**
tel: **385 1 387 33 87**
fax: **385 1 387 40 96**
e-mail: **info@hidroinzenirig.hr**

PROJEKTIRANJE HIDROTEHNIČKIH OBJEKATA: UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA, UREĐAJI ZA KONDICIONIRANJE PITKE VODE, SUSTAVI ODVODNJE OTPADNIH VODA I VODOOPSKRBNI SUSTAVI

PRIPREMA TEHNIČKO - EKONOMSKE DOKUMENTACIJE ZA EU FONDOVE IZRADOM: STUDIJA IZVEDIVOSTI, APLIKACIJA I TENDER DOKUMENTACIJE

INŽENJERING I KONZALTING: IZGRADNJA UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA (Projektiranje, dobava i montaža strojarske i elektro opreme)

CJELOVITA RJEŠENJA ZA OTPADNE VODE SVIH TIPOVA INDUSTRIJSKIH POGONA

CJELOVITA RJEŠENJA ZA ODLAGALIŠTA OTPADA

Hidroinženiring d.o.o. Ljubljana je tvrtka osnovana 1971. godine, od 2007 ima registriranu podružnicu u Zagrebu koja trenutačno zapošljava 6 zaposlenih. Centrala tvrtke ima 43 zaposlena. Sveukupno je cca. 80% radne snage visoko obrazovano od čega 2 dr. sc. i 2 mr. sc. Tvrtka je osim na slovenskom i hrvatskom tržištu vrlo aktivna i na tržištima Rusije, Bjelorusije, Makedonije i Srbije

KOMUNALAC
d.o.o. Opatija

Komunalac d.o.o. Opatija osnovan je 1. travnja 1952. godine pod nazivom Ustanova za komunalne službe «Komunalac» Opatija.
Društvo je organizirano po odredbama Društvenog ugovora «Komunalac» kojeg su Osnivači (Grad Opatija, općine Lovran, Matulji i M. Draga) zaključili 10. studenog 1995. godine.
Društvenim ugovorom članice su povjerile društvu obavljanje komunalnih djelatnosti utvrđenih Zakonom komunalnom gospodarstvu na svom području:

- opskrba pitkom vodom,
- odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda,
- održavanje čistoće
- odlaganje komunalnog otpada,
- održavanje javnih površina
- održavanje nerazvrstanih cesta,
- tržnice na malo,
- održavanje groblja i obavljanje pogrebnih poslova,
- održavanje javne rasvijete

U vodovodnom sustavu je već 2007. godine uveden i certificiran, a u ožujku 2010. godine i recertificiran sustav upravljanja zdravstvenom ispravnošću vode za piće prema normi ISO 22000:2005.

Ove godine Društvo obilježava 127 godina vodoopskrbe te 107 godina odvodnje.

AQUATERM d.o.o. je moderna tvrtka sa dugogodišnjim iskustvom, čija je osnovna djelatnost izgradnja komunalne infrastrukture (vodovodnih sustava od izvora do potrošača, kanalizacijskih sustava, te ostalih hidrotehničkih objekata vodospremnici, crpne stanice, UPOV-a protupožarnih sustava hidrantskih mreža, radova niskogradnje sa građevinskom mehanizacijom, horizontalna bušenja ispod prometnica, analiza i otkrivanje kvarova na vodovodnim instalacijama te ostali radovi vezani za vodoopskrbu i odvodnju).
Politika tvrtke je da zadane radove obavi što kvalitetnije u zadanom roku i sa što manje utjecaja na okoliš, a dokaz tome je da višegodišnje posjedovanje certifikata o kvaliteti prema ISO 9001:2008 standardu i certifikata za zaštitu okoliša prema ISO 14001:2004 standardu.
Posebno treba naglasiti da je tvrtka Aquaterm d.o.o.

Izgradnja kolektora u linearnoj kliznoj podgradi KRNIGS

proširenjem djelatnosti započela izvoditi radove mikrotoneliranja promjera DN 600 mm do DN 3000 mm raznih dužina u suradnji sa svjetski renomiranim proizvođačem strojeva Herrenknecht AG iz
R Njemačke.

METODA MIKROTUNELIRANJA

Pod mikrotuneliranjem podrazumijevaju se radovi na podzemnoj ugradnji predgotovljenih cijevi različitih promjera, pri čemu se cijevi instaliraju pomoću stroja za mikrotuneliranje uz hidrauličko utiskivanje iz startne jame.
Gradilište se uobičajeno sastoji od startne i izlazne jame između kojih se pomoću specijalnih strojeva utiskuju cijevi

Mikrotuneliranje ispod rijeke Korane DN 1400 mm, L=252 m

koje će konačno činiti radni ili zaštitni cjevovod.
Cijevi koje su specijalno napravljene da bi izdržale sile tijekom instalacije, stvaraju konačan cjevovod nakon što se ukloni materijal iz iskopa.
Pomoću metode mikrotuneliranja ugrađuje se zaštitna cijev ispod vodotoka, prometnica ili objekata (posebno u urbanim sredinama), a u nju se mogu uvlači radna i rezervna cijev, koje su oslonjene na specijalnim držačima. Ovisno o promjeru zaštitna cijev ostavlja mjesta i omogućuje uvođenje i drugih potrebnih instalacija, kao npr. optičkih kabela, energetskih kabela, kanalizacijski i vodovodnih cijevi ili služi kao radna cijev.
Dvije najveće snage koje treba savladati kod potiskivanja cijevi u tlu su težina cijevi i trenje između površine cijevi i tla, za vrijeme utiskivanja cijevi. Trenje se povećava s povećanjem promjera cijevi, budući da veći promjer znači i veću površinu oplošja cijevi.
Uvođenjem maziva, koristeći se smjesom bentonita, znatno je smanjeno trenje duž oplošja cijevi.
Smjese bentonita su specijalno napravljene da pogoduju različitim stanjima tla, za što koristimo automatski sustav ubrizgavanja.
Smjesa bentonita se pumpa kroz otvore u stjenci cijevi pomoću malih rupa probušenih duž cijelog oboda na stjenci cijevi. Utiskivanje smjese se obično nadzire iz centra za miješanje koji se nalazi uz startnu jamu.
Tvrtka Aquaterm d.o.o. je izvela vrlo zahtjevan projekat mikrotuneliranja ispod rijeke Korane
u Karlovcu cijevima unutrašnjem promjera 1400 mm dužine 252 m, te je u fazi izvedbe sljedećeg projekta ugradnje cijevi unutrašnjeg promjera 1600 mm dužine 260 m s dva zavoja R=150.

Hrvatski hidrografski institut izrađuje pomorske karte i navigacijske publikacije, koje obuhvaćaju područje Jadranskog mora, Jonskog mora, Malteških otoka i Mediterana. Sva izdanja ažuriraju se mjesečnikom **"Oglas za pomorce"**.
Nautičarima se preporučuje njihovo korištenje radi povećanja sigurnosti plovidbe.

Obalne pomorske karte prikazuju područje istočne obale Jadranskog mora, u mjerilu 1: 50 000 do 1: 100 000. Male karte su dostupne u kompletima MK-I (1-12) i MK-II (13-29), te kao mapa Male karte sa svih 29 karata u spiralnom uvezu, koje pokrivaju čitavu istočnu obalu Jadrana.

HRVATSKI HIDROGRAFSKI INSTITUT

HR-21000 SPLIT, Hrvatska, Zrinsko-Frankopanska 161
Tel: +385 (0)21 308 800, Fax: (0)21 347 242, e-mail: offi ce@hhi.hr
www.hhi.hr

HIDROPROJEKT-ING
projektiranje d.o.o.
Draškovićeva 35
10000 Zagreb
Hrvatska
tel: +385 (0)1 45 53 141; 45 53 146
fax: +385 (0)1 46 17 672

www.hp-ing.hr

OSIJEK

HIDROPROJEKT-ING
P R O J E K T I R A N J E

IZLAGAČI I DONATORI

IND-EKO
Jamac održivog razvoja

wavin

DIONIČKO DRUŠTVO varkom
vodoopskrba odvodnja građenje zbrinjavanje otpada čistoća

Hidrokonzalt
Hidroconsult
konzalting i inženjering za infrastrukturu d.o.o.
consulting & engeenering for infastructure Ltd

GDi GISDATA
Effective Solutions

SVB VARGON
INSTALACIJSKI SUSTAVI

CGS

GORAN
GRADITELJSTVO D.O.O.

Hidro
nženjering
www.hidroinzenjering.hr

vodogradnja rijeka d.o.o.

IGH

VODOPRIVREDA SISAK d.d.

ponikve.krk
trgovačko komunalno društvo d.o.o.

NIVELCO
3 years warranty@Nivelco! - Where else?

nexe

Steinbacher Consult
... invent the future
Ingenieurgesellschaft mbH & Co.KG

Institut za elektroprivredu
i energetiku d.d.
Energy Institute Inc.

HOBAS®

VODOGRADNJA VARAŽDIN d.d.

VODOPRIVREDA
KARLOVAC d.d.

AQUA PROMET d.o.o.

ISBN 978-953-7672-01-0