



INSTITUT ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA - ZAGREB
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju

**KARAKTERIZACIJA VODNIH CJELINA NA
CRNOMORSKOM SLIVU U OKVIRU IMPLEMENTACIJE
OKVIRNE DIREKTIVE O VODAMA EU**

Broj: _____/2005

Predstojnik Zavoda:

Ravnatelj:

Dr.sc. Željka Brkić, znan.sur.

Dr.sc. Josip Halamić, viši znan.sur.

Zagreb, 2005



- PROJEKT:** **Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU**
- NARUČITELJ:** **HRVATSKE VODE**
Zavod za vodno gospodarstvo
Ul. grada Vukovara 220, Zagreb
- UGOVOR:** **Klasa: 325-03/04-04/68**
Ur. broj: 374-1-9-04-1
- IZVOĐAČ:** **INSTITUT ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA**
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju
Sachsova 2, Zagreb
- Voditelj projekta:** Dr.sc. Željka Brkić, dipl.inž.geol.
- Autori izvješća:** Dr.sc. Željka Brkić, dipl.inž.geol.
Mr.sc. Ranko Biondić, dipl.inž.geol.
Dr.sc. Janislav Kapelj, dipl.inž.geol.
Dr.sc. Sanja Kapelj, dipl.inž.geol.
Mr.sc. Tamara Marković, dipl.inž.geol.
- Suradnik:** Mario Dolić, teh.



SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. METODOLOGIJA PRIMJENE OKVIRNIH DIREKTIVA ZA VODE EU NA CRNOMORSKI SLIV	2
2.1. Cjeline podzemne vode	2
2.2. Prirodna ranjivost vodonosnika	5
2.3. Inicijalna odredba cjelina i kemijskog stanja podzemne vode	7
2.3.1. Općenito o prirodnoj kakvoći podzemnih voda u Crnomorskom slivu	9
2.3.2. Inicijalna odredba cjelina podzemnih voda i kemijskog stanja podzemnih voda zagrebačkog vodonosnika	10
2.3.3. Inicijalna odredba cjelina podzemnih voda i kemijskog stanja podzemnih voda varaždinskog vodonosnika	12
2.3.4. Inicijalna odredba cjelina podzemnih voda i kemijskog stanja podzemnih voda Gorskog kotara – sliva Kupe	12
2.4. Važniji ekosustavi	14
2.5. Korištenje prostora (land use)	14
2.6. Analiza pritisaka (opterećenja) i utjecaja na podzemnu vodu	14
2.6.1. Opterećenje na količinsko stanje podzemne vode	14
2.6.2. Opterećenje od točkastih izvora onečišćenja	15
2.6.3. Opterećenje od raspršenih izvora onečišćenja	15
2.7. Procjena rizika	17
2.8. Praćenje stanja podzemnih voda (monitoring)	19
2.8.1. Praćenje količinskog stanja podzemne vode	19
2.8.2. Praćenje kvalitativnog stanja podzemne vode	21
DOKUMENTACIJA	24

PRILOZI

1. Opis cjelina podzemnih voda s osnovnim vodonosnicima
2. Opis cjelina podzemnih voda sa sekundarnim vodonosnicima
3. Tipovi cjelina podzemnih voda
4. Prirodna ranjivost cjelina podzemnih voda
5. Procjena rizika cjelina podzemnih voda

1. UVOD

Prema ugovoru Kl. 325-03/04-04/68, Ur. br. 374-1-9-04-1 (Hrvatske vode) i br. 2459/04 (IGI) Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju preuzeo je obvezu izrade projekta – Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU.

Osnovni cilj ovog projekta je bio izdvojiti cjeline podzemnih voda prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (WFD-2000/60/EC)), definirati njihovu prirodnu ranjivost, te dati procjenu rizika na osnovi kojega je u budućnosti potrebno poduzeti mjere za uspostavljanje dobrog kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda u Crnomorskom slivu. Za ilustraciju značaja zaliha podzemnih voda potrebno je napomenuti da oko 90% ukupne pitke vode, koja se koristi u našoj državi ima svoje porijeklo u podzemlju i da je jednako tako budućnost opskrbe zdravom pitkom vodom vezana za podzemlje. Saznanja o količinama i kakvoći vode temeljni je dio upravljanja vodnim resursima, posebice u uvjetima održivog razvoja što je i temelj Okvirne direktive o vodama EU.

U okviru obrade problematike podzemnih voda, a u svezi sa zahtjevima Okvirnih direktiva o vodama EU – podzemne vode načinjeno je sljedeće:

- Analiza cjelina podzemnih voda
- Horizontalna i vertikalna delineacija cjelina podzemnih voda (uslojenost vodonosnika)
- Ocjena smjera toka podzemne vode
- Određivanje hidrogeokemijskih značajki s težištem na ocjenu antropogenog utjecaja na kakvoću podzemne vode i odvajanje od prirodnog stanja kakvoće podzemne vode
- Analiza krovinskih naslaga (debljina, litološki sastav)
- Odnos podzemnih voda s važnijim ekosustavima
- Analiza opterećenja na količinsko stanje podzemne vode
- Analiza točkastih i raspršenih onečišćivača
- Procjena rizika
- Analiza postojećeg monitoringa kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda i prijedlog budućeg

Svi rezultati istraživanja prikazani su u GIS tehnologiji.

2. METODOLOGIJA PRIMJENE OKVIRNIH DIREKTIVA ZA VODE EU NA CRNOMORSKI SLIV

2.1. Cjeline podzemne vode

Prema Okvirnim direktivama o vodama Europske Unije (WFD 2000/60/EC) zemlje članice, kao i zemlje kandidati Europske Unije imaju obvezu odjeljivanja cjelina podzemnih voda s prikazom njihovog kvantitativnog i kvalitativnog stanja. Također, mogućnost je da se ne prilažu karte svih cjelina, već samo onih koje su izložene značajnom utjecaju promjene kvantitativnog i/ili kvalitativnog stanja.

Izdvajanje cjelina podzemne vode na području Crnomorskog sliva provedeno je korištenjem Osnovne geološke karte RH 1:100.000, Hidrogeološke karte 1:200.000, Hidrogeološke karte 1:300.000, te izvješća Instituta za geološka istraživanja, Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju načinjenog u okviru Vodnogospodarske odnove RH – dio Podzemne vode, kao i brojnih drugih objavljenih i neobjavljenih radova.

Osnova za izdvajanje cjelina podzemnih voda bila je analiza sljedećih elemenata:

- geološka građa terena (listostratigrafske jedinice i strukturno-tektonski odnosi)
- poroznost (intergranularni, pukotinski, pukotinsko-kavernozni)
- geokemijski sastav (silikatni, karbonatni)
- hidrogeološke karakteristike (hidrogeološke jedinice prema propusnosti, hidraulička vodljivost i transmisivnost vodonosnika)
- smjerovi toka podzemnih voda – analizom trasiranja podzemnih voda u kršu
- izdašnosti izvora i zdenaca
- napajanje podzemnih voda
- odnos s površinskim tokovima
- položaj cjelina podzemnih voda unutar riječnih slivova definiranih u okviru Vodnogospodarske osnove RH

Jedna od osnovnih podloga korištenih za odjeljivanje cjelina podzemne vode je **Osnovna geološka karta RH M 1:100.000** (IGI, Zagreb). Izrađena je za skoro cijelo područje Hrvatske i pruža dobru osnovu za daljnje analize. Potrebno je napomenuti da je karta rađena tijekom 60-tih do 80-tih godina prošlog stoljeća kada su promišljanja o strukturno-tektonskim odnosima bila nešto drugačija nego danas. Stoga je neophodno reinterpretirati strukturno-tektonske odnose u skladu s današnjim promišljanjima.

Od hidrogeoloških podloga korištena je **Hidrogeološka karta RH M 1:200.000** (IGI, Zagreb). Rađena je 70-tih i 80-tih godina prošlog stoljeća i između ostalog sadrži i procjenu dubine do podzemne vode na osnovi tadašnje razine znanja. S obzirom na brojna kasnija istraživanja, saznanja o dubinama do podzemnih voda su upotpunjena i kao takva korištena u analizama za potrebe ovog projekta. Važnost ovog sloja je prije svega odjeljivanje zone plitkog od dubokog krša, pretežito površinskog tečenja od podzemnog, odnosno prikaz različitih uvjeta tečenja u vodonosniku.

Osnovna hidrogeološka karta RH M 1:100.000 (IGI, Zagreb) novijeg je datuma i na njoj su prikazani položaji svih vodnih objekata i pojava, kao i geomorfoloških objekata koje je moguće prikazati na navedenom mjerilu. Također, u bazi hidrogeoloških podataka nalaze

se i ostali registrirani vodni objekti i pojave. Jedna od bitnih karakteristika hidrogeološke karte je raspodjela litostratigrafskih jedinica ovisno o njihovoj vodopropusnosti.

Hidrogeološka karta RH M 1:300.000 (Biondić et al., 1996), rađena za potrebe Vodnogospodarske osnove RH, jedina je hidrogeološka podloga koja u cijelosti pokriva teritorij RH. Baze podataka koje prate ovaj GIS prikaz sadrže slivne odredbe, vodne točke, bazu crpilišta, speleoloških i morfoloških objekata, hidrogeološku podlogu i strukturno-tektonsku obradu.

Vodnogospodarskom osnovom RH – dio Podzemne vode (Biondić et al., 2001) detaljnije su obrađene podzemne vode u Hrvatskoj. Posebno se to odnosi na analizu kvartarnih vodonosnika u Dravskom i Savskom bazenu. Kvartarni vodonosnici su prostorno prikazani prema svojim hidrogeološkim parametrima (hidraulička vodljivost i transmisivnost vodonosnika), a prikazana je i karta debljina krovinskih naslaga koja predstavlja jedan od osnovnih elemenata za definiranje prirodne ranjivosti vodonosnika.

Hidropedološka karta RH 1:300.000 (Agronomski fakultet) novijeg je datuma, rađena je za potrebe Hrvatskih voda i Vodnogospodarske osnove RH, a sadrži brojne podatke o pedološkim karakteristikama tla, te pokrivenost terena šumama i pašnjacima. Za potrebe ovog projekta korišteni su podaci o litološkom sastavu krovinskih naslaga (ukupne debljine pedološkog sloja do 3 m). Kod hidrogeoloških istraživanja litološki sastav krovinskih naslaga vrlo se rijetko analizira osim vizualnom determinacijom. Podaci o litološkom sastavu naslaga s jednog pedološkog profila su statistički obrađeni na osnovi čega su dobiveni udjeli pojedinih litotipova (pijesak, prah i glina) unutar razmatranog profila. Litološki sastav krovinskih naslaga prikazan je u GIS-u. Iz hidropedološke karte preuzet je i prostorni raspored šuma i pašnjaka u Crnomorskom slivu.

Trasiranja podzemnih tokova prikupljena su iz brojnih izvješća. Većim dijelom su izvedena pred 40-tak godina, kada je detekcija trasera rađena korištenjem kvarc-lampe i svaka interpretacija je imala veliku dozu subjektivnosti. Stoga je određena trasiranja potrebno i ponoviti. To je inače jedna od najsigurnijih metoda kod slivnih odredbi, kod izrade zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode, ali i pri odjeljivanju cjelina podzemne vode.

Hidrološka analiza vrlo je bitna podloga kod istraživanja vodnih resursa. Njome dobivamo kvantitativno stanje površinskih voda i procjene utjecajnih slivnih površina za određene vodomjerne profile (dijelove slivova). Vodne sustave površinskih i podzemnih voda u krškim područjima vrlo je teško odijeliti, tako da se obradom protoka na vodomjernim postajama dobiva vrlo dobra slika kvantitativnog stanja vodnih sustava na tome slivu. Određeni slivovi slabije su zastupljeni vodomjernim postajama jer su one uglavnom postavljene za potrebe odredbe stanja površinskih voda, pa na nekim većim izvorima nema kontinuiranog mjerenja količina istjecanja već se one određuju različitim procjenama.

Hidrogekemijskom analizom dobivamo neophodne podatke o kakvoći, ali i genezi vodnih sustava, što je od velike važnosti pri slivnim odredbama, pri projektima zaštite izvorišta, ali i pri odjeljivanju cjelina podzemne vode. Kemijski sastav podzemne vode rezultat je interakcije vode sa krutim tvarima i plinovima tijekom hidrološkog ciklusa, stoga vrsta i koncentracija iona u podzemnim vodama varira u odnosu na fizičke i kemijske procese kojima je ta voda bila izložena.

Postojeći podaci o podzemnim vodama ne pokrivaju ravnomjerno cjelokupno područje Crnomorskog sliva. Metodologija i opseg dosadašnjih istraživanja definirani su

prvenstveno potrebama i prioritetima rješavanja vodoopskrbe, te djelomično zaštititi pojedinih crpilišta. Za određena područja gdje ne postoje značajniji vodonosnici, ili se vodoopskrba rješavala dovođenjem vode iz drugih područja, odnosno tamo gdje nema potreba za većim količinama, praktički ne postoje podaci o podzemnim vodama, osobito sa aspekta zahtjeva Okvirne direktive o vodama.

Poseban problem predstavlja područje krša gdje osim nedovoljno preciznih podataka o izdašnosti i kakvoći vode izvora, te nedovoljnog broja trasiranja podzemnih tokova, praktički ne postoje podaci o podzemnoj vodi. Zbog toga je izdvajanje cjelina podzemne vode za krški dio Crnomorskog sliva bio vrlo kompleksan zadatak pri kojemu je potrebno sagledati sve dosadašnje radove na području sliva. Izdvojene cjeline podzemne vode odnose se na grupe izvora sa zajedničkim ili dijelom zajedničkim područjem napajanja. Za detaljnije izdvajanje cjelina podzemnih voda potrebni su dodatni istražni radovi (trasiranja podzemnih tokova, hidrološke analize, hidrogeokemijska istraživanja,...).

Okvirne direktive za vode (WFD-2000/60/EC) predviđaju izdvajanje svih cjelina podzemne vode iz kojih se može crpiti više od 10 m³/dan (0.1 l/s). Na području Crnomorskog sliva to se praktički odnosi na sve naslage. Na taj je način, a temeljem provedene analize prema prethodno navedenim pokazateljima izdvojeno ukupno 363 cjeline podzemnih voda od kojih su svi svrstani u kategoriju jednog vodonosnika u vertikalnom razrezu. Posebno su izdvojena dva dublja vodonosnika intergranularne poroznosti, od čega se jedan nalazi na varaždinskom, a drugi na zagrebačkom području. Razlog zašto nije izdvojeno više dubokih slojeva je taj što se nizvodno od ova dva dublja vodonosnika, povećava broj polupropusnih prašinasto-glinovitih slojeva koji cjelokupni vodonosni kompleks dijele na znatan broj tanjih vodonosnika koji praktički nisu istraženi.

Budući će se, prema WFD, monitoring podzemnih voda morati uspostaviti u svakoj izdvojenoj cjelini podzemne vode, što je praktički nepotrebno s obzirom na mogućnost korištenja i onečišćenja podzemnih voda, a što u konačnici iziskuje i velika financijska sredstva, pokušali smo naći najbolji način kako bi ih grupirali. Pregledajući literaturu o primjeni WDF u drugim zemljama najoptimalniji način grupiranja učinio nam se onaj koji je načinjen u UK, a koji je kod njih usvojen na nacionalnom workshop-u hidrogeologa Agencije za zaštitu okoliša (Environmental Agency – EA) održanom 15.6.2003. godine. Zaključci workshop-a sastojali su se u podjeli vodonosnika u četiri tipa:

- osnovni vodonosnici – oni iz kojih se ostvaruje značajno korištenje podzemne vode i oni koji imaju značajnu ulogu u održavanju ekosustava podzemne vode
- sekundarni vodonosnici – oni koji također imaju važnu ulogu u opskrbi podzemnom vodom, ali koji zbog svojih hidrogeoloških i hidrauličkih svojstava lako mogu dovesti do pre-eksploatacije
- neproduktivni vodonosnici – uglavnom su ograničeni na tercijarne i jurske gline koje općenito ne mogu dati količine veće od 10 m³/dan
- značajan «drift» vodonosnik – područja s podzemnom vodom u sklopu «drift» krovinskih neproduktivnih slojeva

Načelno prihvaćajući ovakvu podjelu vodonosnika, na području Crnomorskog sliva izdvojili smo tri tipa vodonosnika na osnovi kojih se može provesti grupiranje cjelina podzemnih voda. Ona je sljedeća:

- osnovni vodonosnici:
 - a) kvartarni vodonosnici intergranularne poroznosti u dolinama rijeka Drave i Save visokih hidrauličkih svojstava iz kojih se odvija glavina javne vodoopskrbe u sjevernoj Hrvatskoj ili su planirani za vodoopskrbu (dravski vodonosnik, vodonosnik na zagrebačkom području, konusni nanosi desnih pritoka rijeke Save, aluvijalni vodonosnik na karlovačkom području)
 - b) karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti i visoke propusnosti u zonama visokog krša u slivovima rijeka Kupe i Une, iz kojih podzemna voda istječe na izvorima velikih izdašnosti
- sekundarni vodonosnici:
 - a) kvartarni vodonosnici intergranularne poroznosti u slivovima rijeka Drave i Save nešto nižih hidrauličkih svojstava koji se koriste za vodoopskrbu, a izdašnosti izvorišta su u pravilu manja od 20 l/s
 - b) karbonatni (trijaski) vodonosnici pukotinske poroznosti i osrednje propusnosti u području sjeverne Hrvatske (Zagorsko i Slavonsko gorje, Žumberačko-Samoborsko gorje, Medvednica)
 - c) karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti u zonama plitkog krša u slivovima rijeke Kupe, praktički bez značajnijih izvora
- neproduktivne stijene - uglavnom su ograničeni na neogenske naslage (izmjena lapora, praha, glina, pijesaka, mjestimice karbonata), kvartarne naslage niskih hidrauličkih svojstava i/ili malih debljina i metamorfne stijene (propusne samo plitko ispod površine terena) koje općenito ne mogu dati količine veće od 5 l/s.

2.2. Prirodna ranjivost vodonosnika

Karta prirodne ranjivosti vodonosnika, odnosno cjelina podzemne vode izrađena je na temelju raspoloživih podataka. Za potrebe regionalnog prikaza ranjivost je uprosječena za pojedine cjeline podzemnih voda.

Kod definiranja prirodne ranjivosti kvartarnih vodonosnika u Dravskom i Savskom bazenu najznačajniji podaci bili su oni o debljinama i litološkom sastavu krovinskih naslaga (aquitarda) koje imaju osnovnu ulogu u prirodnoj zaštiti vodonosnika. Uzimajući to u obzir, aquitard je podijeljen u kategorije:

- povoljan za zaštitu vodonosnika
 - a) područje istočne Slavonije gdje debljina krovinskih naslaga u pravilu prelazi 20 m, a u litološkom sastavu u pravilu prevladavaju prah i glina
 - b) područje između Zagreba i ušća Une u Savu gdje debljina krovinskih naslaga u pravilu prelazi 20 m, a u litološkom sastavu pretežito dominiraju glina i prah
 - c) područje zapadne Slavonije, između konusnih šljunkovito-pjeskovitih nanosa desnih pritoka rijeke Save i Slavanskog gorja, gdje je debljina krovinskih naslaga u pravilu veća od 60 m, a u litološkom sastavu pretežito dominiraju glina i prah
- srednje povoljan za zaštitu vodonosnika
 - a) područje Podravine gdje debljina krovinskih naslaga varira od 5 do 20 m, a u litološkom sastavu je visoko zastupljen pijesak

- b) područje Baranje gdje je debljina krovinskih naslaga manja od 20 m, a u litološkom sastavu dominiraju pijesak i prah
- b) područje nizvodno od Zagreba do istočne Slavonije gdje je debljina krovinskih naslaga manja od 20 m u području napajanja vodonosnika (rijeka Sava), a u litološkom sastavu pretežito dominiraju glina i prah
 - nepovoljan za zaštitu vodonosnika
- a) područje Varaždinskog bazena gdje je debljina krovinskih naslaga u pravilu manja od 5 m (a često je to i samo humus)
- b) Zagrebačko područja gdje je debljina krovinskih naslaga u pravilu manja od 5 m (a često je to i samo humus)

Na osnovi kategoriziranih krovinskih naslaga kvartarnih vodonosnika, te poznavanja geološke građe i litološkog sastava naslaga u ostalom dijelu Panonske Hrvatske načinjena je karta prirodne ranjivosti vodonosnika, odnosno cjelina podzemnih voda. Isto je načinjeno i za područja krških vodonosnika i to prema litološkom sastavu stijena, ponornim zonama, dubinama do podzemne vode, odnosno koristeći gotovo sve ranije navedene podloge. Prirodna ranjivost podijeljena je u četiri kategorije:

- nema ranjivosti
 - a) područje s neproduktivnim vodonosnicima
 - b) područje s vodonosnicima gdje su debljine krovinskih naslaga veće od 20 m (Đakovačko-vinkovački i Vukovarski ravnjak)
- niska ranjivost
 - a) područje s vodonosnicima gdje krovinske naslage dosežu i veće debljine, ali je područje napajanja vodonosnika slabo zaštićeno krovinskim naslagama
- srednja ranjivost
 - a) područje s vodonosnicima gdje debljina krovinskih naslaga doseže 20 m, ali je područje napajanja vodonosnika slabo zaštićeno krovinskim naslagama
- visoka ranjivost
 - a) područje s vodonosnicima gdje debljina krovinskih naslaga doseže 10 m, ali je debljina krovinskih naslaga u području napajanja vodonosnika bitno manja od 5 m
 - b) u pravilu otvoreni karbonatni (trijaski) vodonosnici pukotinske poroznosti i osrednje propusnosti u području sjeverne Hrvatske (Zagorsko i Slavonsko gorje, Žumberačko-Samoborsko gorje, Medvednica)
 - c) u pravilu otvoreni karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti u slivovima rijeka Kupe, Korane i Une dijelom zbog pokrova klastičnih naslaga promjenljive debljine ili zbog velike dubine do podzemne vode
- vrlo visoka ranjivost
 - a) područje Varaždinskog bazena gdje je debljina krovinskih naslaga u pravilu manja od 5 m (a često je to i samo humus)
 - b) Zagrebačko područja gdje je debljina krovinskih naslaga u pravilu manja od 5 m (a često je to i samo humus)
 - c) u pravilu otvoreni karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti i visoke propusnosti u zonama visokog krša u slivovu rijeke Kupe i Une (sliv Koreničkog polja)

što je rezultat specifičnosti krških terena (velike brzine podzemnih tokova, brojni ponori kroz koje ponire velika količina vode u krško podzemlje, brz pronos onečišćenja). Iako su dubine do podzemne vode u zoni dubokog krša u slivu Kupe vrlo velike (čak i više od 200 m) prirodna ranjivost ovih vodonosnika okarakterizirana je vrlo visokom zbog mnoštva morfoloških pojava (jame, vrtače) sa praktički direktnom vezom površine i vodonosnika. Također, velike brzine podzemnih tokova (čak i do 14 cm/s - sliv Čabranke) ukazuju na vrlo brzi pronos potencijalnog onečišćenja što ove vodonosnike izdvaja u visoko ranjive.

2.3. Inicijalna odredba cjelina i kemijskog stanja podzemne vode

Nakon definiranja prirodne ranjivosti vodonosnika prišlo se analizi kakvoće podzemne vode, prvenstveno za ona područja, odnosno one cjeline podzemne vode koje su svrstane u kategoriju vrlo visoke ranjivosti. Na početku je potrebno napomenuti da je, već i prema postojećoj zakonskoj regulativi, praćenje kakvoće podzemnih voda obvezno na svim crpilištima uključenim u javnu vodoopskrbu. Međutim, taj opseg rijetko zadovoljava kriterije propisane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti voda za piće (NN 46/1994).

Kakvoća podzemne vode u pravilu se opaža samo na crpilištima koja se koriste za javnu vodoopskrbu i to uglavnom na zahvatnim objektima (zdenac ili sam izvor). Na čitavim priljevnim područjima praćenje kakvoće podzemne vode provodi se samo na većim crpilištima (zagrebačkim, varaždinskim, osječkom) na kojima je zahvaćen aluvijalni vodonosnik.

Geokemijska karakterizacija cjelina podzemnih voda izvršena je na temelju raspoloživih podataka o kakvoći podzemnih voda prikupljenih iz različitih izvora (Hrvatske vode, Vodoopskrba i odvodnja-Zagreb, Institut za geološka istraživanja-Zagreb, Komunalac-Delnice, Varkom-Varaždin).

Kao glavni pokazatelji stanja kakvoće podzemne vode u WFD su navedeni otopljeni kisik, pH vrijednost, elektrolitička vodljivost, nitrati i amonijak (Annex V), a u prijedlogu za uspostavljanje strategije o sprečavanju i kontroli onečišćenja podzemne vode u okviru Smjernica (Proposal for a establishing strategies to prevent and control pollution of groundwater, Draft 1.0 od 20.02.2003. – Annex I) navode se još: Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, K, Na, Zn, Cl⁻, SO₄²⁻ i TOC. U ovom se prijedlogu još ističe potreba poklanjanja posebne pozornosti definiranju međusobne veze između pojedinih vodonosnih slojeva i, ako je moguće, razmatranje vremena zadržavanja podzemne vode.

Pri odabiru pokazatelja za prikaz kakvoće podzemne vode u okviru ovog projekta korištene su preporuke EU o karakterizaciji površinskih voda za potrebe određivanja njenog kemijskog statusa (stanja), a s obzirom na raspoložive podatke o kakvoći podzemnih voda preporuka se pokazala dijelom korisna i za potrebe inicijalne karakterizacije kemijskog stanja, ali i stanja kakvoće podzemnih voda na dijelu podunavskog sliva kojem pripadaju zagrebački i varaždinski vodonosnik, sliv rijeke Kupe, Mrežnice i Korane.

Osnovni razlog tome je potreba ujednačavanja kriterija za procjenu inicijalnog kemijskog stanja podzemnih voda i stanja kakvoće, odnosno odabira pokazatelja koji se

uglavnom na svim mjestima dosadašnjeg monitoringa i opažaju. Vodeći se time, odabrani su sljedeći pokazatelji:

1. Temperatura podzemne vode – odabrana kao pokazatelj karakterizacije vodnih cjelina kao jedan od najstarijih trasera porijekla podzemnih voda, a u pogledu odeđivanja kemijskog stanja i stanja kakvoće podzemne vode važan faktor brzine mnogih kemijskih reakcija kao i indikator koji utječe na uvjete života pojedinih mikroorganizama.
2. Redoks uvjeti u podzemnim vodama – zamijenjeni sadržajem otopljenog kisika i zasićenosti kisikom u podzemnim vodama što odražava aeriranost vodene sredine s utjecajem na mnoge kemijske i biokemijske reakcije.
3. Mineralizacija, odnosno salinitet kao mjera količine otopljene tvari u vodi – prikazani su pomoću vrijednosti elektrolitičke vodljivosti u $\mu\text{S}/\text{cm}$.
4. Stanje kiselosti podzemne vode (alkalitet, pH) – prikazana vrijednošću pH, važna zbog velikog utjecaja na niz procesa poput taloženja, otapanja, biotransformacije itd.
5. Sadržaj hranjivih soli dušika (nitrati, nitriti, amonijak) i fosfora (ukupni fosfor, ortofosfati) – u našem slučaju prikazani koncentracijom nitrata, otopljenog reaktivnog fosfora u obliku ortofosfata i gdje su postojali podaci sadržajem ukupnog fosfora. Pokazatelji su antropogenog utjecaja na podzemne vode različitog porijekla (poljoprivreda, industrija, domaćinstvo, odlagališta otpada itd.).
6. Teške kovine – željezo, čest pokazatelj prirodnog i antropogenog onečišćenja vodonosnika. Ionske vrste željeza, amorfne i mineralne forme dobar su pokazatelj ponašanja i još nekolicine teških kovina.
7. Opterećenost organskom materijom – kemijska potrošnja kisika dobivena iz utroška kalijevog permanganata dobar je pokazatelj opterećenja podzemnih voda organskim, oksidabilnim tvarima.
8. Kloridi – nereaktivni i vrlo pokretljivi ioni u podzemnim vodama, odabrani su kao dokazi utjecaja poljoprivrede i korištenja mineralnih i prirodnih gnojiva, otpadnih voda s prometnica, iz domaćinstava, i poljopoljodjelstva.
9. Drugi pokazatelji (suspendirana kruta tvar, mutež)– od drugih pokazatelja odabrane su vrijednosti muteži kao indikatora nazočnosti sitnih dispergiranih čestica različitog porijekla (najčešće nastalih ispiranjem tla i sedimenata pukotinskih prostora u vodonosniku često praćena mikrobiološkim onečišćenjem), te mikrobiološki pokazatelji – broj bakterija fekalni koliformi/100 ml, broj bakterija fekalnih streptokoka /100 ml) i sadržaj mineralnih ulja (servisna postrojenja, benzinske crpke, industrija).

U zajedničkoj strategiji primjene okvirnih direktiva o vodama (engl. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (200/60/EC) u tehničkom izvješću o statističkim aspektima identifikacije trendova onečišćenja podzemnih voda i cjelovitog prikaza rezultata monitoringa (engl. – The EU WFD: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results“), navedeno je da aritmetička sredina vrlo dobro odražava opće stanje pojedine cjeline podzemnih voda i odraz tog stanja koji ne prelazi više od 50% područja cjeline, ali ukoliko se radi o jednoliko distribuiranim mjestima opažanja.

Međutim, ako imamo neravnomjernu raspodjelu onečišćenja uzrokovanu lokalnim ili difuznim izvorom koji imaju utjecaj samo na neke točke u cjelini, tada je korištenje aritmetičke sredine vrlo upitno bez obzira o tipologiji vodonosnika.

Tako na primjer, analogno hidrogeološkim uvjetima koji vladaju u vodonosnicima pukotinsko-kaverozne poroznosti, može se očekivati nepouzdanost aritmetičke sredine kao valjane veličine za definiranje kemijskog statusa podzemnih voda u ovisnosti o hidrološkim i sezonskim uvjetima.

Unatoč spomenute nepouzdanosti, kao osnovna metoda prikupljanja rezultata odabran je tzv. "pragmatičan pristup", odnosno korištenje aritmetičke sredine (AM) za inicijalnu karakterizaciju cjelina podzemnih voda.

2.3.1. Općenito o prirodnoj kakvoći podzemnih voda u Crnomorskom slivu

Osnovna karakteristika prirodne kakvoće podzemnih voda u vodonosnicima intergranularne poroznosti u sjevernoj Hrvatskoj je povećan sadržaj željeza, mangana, amonijaka i njihovih pratećih sastojaka, od kojih se posebno ističe arsen zabilježen u području istočne Slavonije (Osijek, Vinkovci). Posljedica je to prirodnih, reduktivnih uvjeta u vodonosniku i nije uzrokovan antropogenim utjecajem. Podzemne vode s povećanim koncentracijama teških kovina u pravilu se odnose na duboke vodonosnike istočnih predjela sjeverne Hrvatske. U zapadnim dijelovima (varaždinsko i zagrebačko područje) teških kovina u podzemnoj vodi u pravilu nema, jer su vodonosnici pod stalnim utjecajem donosa vode obogaćene kisikom. Izuzeci postoje, ali su lokalnog karaktera.

I kakvoća podzemnih voda iz karbonatnih vodonosnika sjeverne Hrvatske je iznimno dobra. Ovi su vodonosnici u pravilu smješteni u gorskim područjima pokrivenim šumama, pa u njihovom priljevnom području nema izvora onečišćenja.

Na područjima izgrađenim od karbonatnih stijena stanje prirodne kakvoće podzemnih voda je vrlo dobro. Specifičnosti krških vodonosnika opisane u ranijim poglavljima ukazuju na krške vodonosnike kao na visoko prirodno ranjive, ali ukoliko isključimo antropogene utjecaje možemo prirodnu kakvoću podići u najvišu kategoriju.

Problemi se javljaju sa prvim jakim jesenskim kišama, kada povećanjem izdašnosti izvora dolazi do povišenja mutnoće izvorske vode, ali ta pojava traje nekoliko dana i ne utječe mnogo na opću ocjenu kakvoće podzemne vode. Takve pojave izrazitije su u slivovima dijelom izgrađenim od nepropusnih klastičnih paleozojskih klastita gdje se bujični vodotoci sa klastičnih naslaga slijevaju prema kontaktu sa karbonatnim stijenama i poniru prihranjujući vodonosnik. Tada je povišena i mineralizacija (TDS) izvorske vode.

Tijekom srednjih i malih voda, u prirodnim uvjetima, kakvoća podzemne vode je vrlo dobra.

2.3.2. Inicijalna odredba cjelina podzemnih voda i kemijskog stanja podzemnih voda zagrebačkog vodonosnika

Na području zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika odjeljivanje cjelina podzemnih voda u geokemijskom smislu vršeno je na temelju postojećih hidrogeokemijskih i izotopnih

pokazatelja. Za određivanje stanja kakvoće podzemnih voda korišteni su podaci iz arhive Hrvatskih voda za razdoblje od 1993. do 1999. godine te rezultati hidrokemijskih i izotopnih analiza izvedenih u okviru projekta hidrogeološke interpretacije hidrogeokemijskih istraživanja zagrebačkog vodonosnika (Brkić et al, 2003).

Istraživanjima je ustanovljena hidrogeokemijska i izotopna uslojenost vodonosnika, što se posebno očituje udaljavanjem od Save. Podzemne vode u blizini Save nešto su podložnije izmjeni sa suvremenom površinskom vodom, dok s udaljenošću od Save utjecaj regionalnog toka na dublje dijelove vodonosnika raste. Izmjena voda po cijeloj dubini vodonosnika na području Črnkovca i Petruševca upućuje na dobre uvjete recentnog obnavljanja vodonosnika. Zapaženo je da se jedino voda u dubokom dijelu vodonosnika na području crpilišta Strmec sporo izmjenjuje, te sadrži vodu dugog vremena zadržavanja u podzemlju.

Izotopnim pokazateljima također je ustanovljena cjelovitost hidrogeološkog sustava koji se proteže između najdubljih dijelova vodonosnika na području Petruševca do srednjeg i najdubljeg dijela vodonosnika na području Črnkovca.

Karakterizacija podzemnih voda u skladu s pripadnošću geokemijskom facijesu jednostavan je i višestruko koristan pristup pri odjeljivanju cjelina podzemnih voda čak i u slučajevima ujednačenog ionskog sastava podzemnih voda kakav je slučaj i zagrebački aluvijalni vodonosnik. Tako podzemne vode crpilišta Črnkovec, Kosnice, Horvata, Petruševca, Male Mlake, Prečka, Stare Loze, Velike Gorica i Zapruđa pripadaju CaMg-HCO₃ geokemijskom tipu, a Sašnjak CaMg-HCO₃ do CaMg-HCO₃SO₄ tipu vode, što je posljedica antropogenih utjecaja. Na području Jakuševca podzemne vode su Ca-HCO₃ do CaMgHCO₃ tipa s iznimkom voda na plohi odlagališta koja još nije sanirana gdje voda poprima CaNH₄Na-HCO₃Cl ili CaNaHCO₃Cl karakter zbog donosa natrija i amonij iona te klorida iz razgrađujućeg otpada (Nakić, 2003).

Temperature podzemne vode prema izračunatim srednjim vrijednostima iznose između 11,07 (Sasnjak) i 13,5 °C (Jakuševac) i u pravilu odražavaju vrijednosti srednjih godišnjih temperatura zraka koje vladaju na područjima pretežitog napajanja. Istraživanjima je zapaženo da u plićim dijelovima vodonosnika, blizu Save, postoje veća odstupanja temperature tijekom godine i temperature podzemnih voda prosječno su više, a dublji dijelovi vodonosnika, gdje je izmjena voda sporija te voda poprima temperaturu okoliša, imaju ujednačeniju i nešto nižu temperaturu. pH vrijednost podzemne vode nalazi se između 7 i 8 prema čemu je voda neutralna do slabo bazična. Niže vrijednosti pH bilježe se na lokaciji Jakuševca gdje produkti razgradnje obližnjeg komunalnog otpada povećavaju kiselost vode.

Kakvoća podzemne vode u dubljim dijelovima zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika odraz je prirodnih geokemijskih uvjeta, a na više mjesta plići dijelovi vodonosnika pod antropogenim su utjecajem različitog intenziteta. Kakvoća podzemne vode na zagrebačkom području uglavnom odgovara Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN br.46/94 i NN br.49/97). Međutim, premda u većini slučajeva ne prelaze maksimalne dozvoljene koncentracije u vodi za piće, na degradaciju kakvoće podzemne vode, kao posljedice antropogenog utjecaja, upućuju nitrati, ukupna i mineralna ulja, lakohlapljivi ugljikovodici, te bakteriološka onečišćenja (Brkić et al, 2003).

Ustanovljeno je da odlagalište otpada na Jakuševcu opterećuje podzemnu vodu, što se u neposrednoj blizini očituje prije svega u vrlo niskom sadržaju otopljenog kisika i njegovoj

visokoj kemijskoj potrošnji na oksidaciju prisutnih tvari organskog porijekla. Ondje podzemne vode imaju nešto višu koncentraciju Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, U itd. od ostalih dijelova vodonosnika. Izgleda da povišeni sadržaj različitih otopljenih tvari omogućava stvaranje raznolikijih ionskih vrsta i vjerojatno organometalnih kompleksa.

Niska koncentracija kisika ustanovljena je na crpilištu Sašnjak, Petruševac, Horvati, a najniža u podzemnim vodama Jakuševca. Zbog niske koncentracije kisika u zoni fluktuacije vodnog lica, na Strmcu, Petruševcu i Črnkovcu, omogućeno je otapanje manganskih i željeznih oksida iz sedimenta i u skladu s tim, povećana koncentracija mangana i/ili željeza u podzemnoj vodi.

Na području Črnkovca i Petruševca, sadržaj klorida najčešće je niži od 10 mg/l što odgovara prirodnim uvjetima. Međutim na području Jakuševca, Male Mlake, Strmca, Šibica, Bregane i Horvata aritmetička sredina izmjerenih koncentracija klorida upućuju na procjedne otpadne vode odlagališta otpada, otpadnih voda s prometnica i iz domaćinstava. Sličnu raspodjelu slijede otopljeni sulfati. Najviše vrijednosti ustanovljene su u plićim dijelovima vodonosnika gdje su uslijed dinamične izmjene voda ustanovljene i najveće oscilacije tijekom godine.

Prosječno najviše izmjerene vrijednosti nitrata izmjerene su u podzemnim vodama u neposrednoj blizini Jakuševca; Sašnjaka, Prečka, Male Mlake i Horvata. Najniža vrijednost aritmetičke sredine sadržaja nitrata odnosi se na područje Črnkovca i Petruševca. Hidrogeokemijska istraživanja zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika pokazala su da je koncentracija ortofosfata u podzemnim vodama visoka, a na pojedinim mjestima često prelazi maksimalno dozvoljene vrijednosti za pitku vodu (Jakuševac). U plitkim dijelovima vodonosnika njihovo porijeklo vezano je za utjecaj odlagališta otpada, otpadne vode domaćinstava i uporabu mineralnih i prirodnih gnojiva u poljodjelstvu. Uzrok povišenog sadržaja ortofosfata u dubokim dijelovima vodonosnika može se također pripisati raspadu organske materije (treseta, lignita). Prema proračunu aritmetičke sredine iz rezultata opažanja iz arhive Hrvatskih voda na crpilištima Bregana, Horvati, Prečko, Stara Loza, Mala Mlaka i Sašnjak, koncentracije ortofosfata prikazane u rezultatima analiza su niže od granice određivanja, odnosno <0,01 mg/l.

Prema geokemijskim pokazateljima na području zagrebačkog vodonosnika mogu se izdvojiti tri cjeline: 2 plića dijela vodonosnika sjeverno i južno od Save s intenzivnom izmjenom podzemnih voda i hidrodinamičkim utjecajem rijeke, te treći duboki dio vodonosnika pod utjecajem regionalnog toka s nešto sporijom izmjenom voda.

Kemijsko stanje i stanje kakvoće podzemnih voda regionalnog toka je vrlo dobro. Plitki dijelovi vodonosnika slabijeg su kemijskog stanja zbog izraženog antropogenog utjecaja. Poglavitno su lošeg stanja dijelovi cjelina podzemnih voda na području Jakuševca, Sašnjaka, Horvata i neki dijelovi Petruševca.

2.3.3. Inicijalna odredba cjelina podzemnih voda i kemijskog stanja podzemnih voda varaždinskog vodonosnika

Na području varaždinskog aluvijalnog vodonosnika odjeljivanje cjelina podzemnih voda u geokemijskom smislu vršeno je na temelju postojećih hidrogeokemijskih pokazatelja.

Za određivanje stanja kakvoće podzemnih voda korišteni su podaci iz arhive VARKOM-a iz Varaždina za razdoblje od 1998. do 2003. godine i Instituta za geološka istraživanja.

Podzemne vode varaždinskog vodonosnika pripadaju Ca-HCO₃ do CaMg-HCO₃ hidrokemijskom facijesu. Sadržaj magnezija je povećan u podzemnim vodama na području crpilišta Vinokoščaka i Bartolovca, a nešto je niži na području crpilišta Varaždin.

Temperature podzemne vode prema izračunatim srednjim vrijednostima iznose između 10,7 °C (Vinokoščak) i 13,2 °C (Bartolovec). Temperature podzemnih voda u pravilu odražavaju vrijednosti srednjih godišnjih temperatura zraka koje vladaju na područjima prihranjivanja. Uočeno je da dublji dijelovi vodonosnika tj. drugi vodonosni horizont ima nešto višu temperaturu od plićeg dijela tj. od prvog vodonosnog horizonta što je posljedica sporije izmjene vode. Temperature podzemne vode mjerene su tijekom hladnijih mjeseci. Također je uočeno da temperatura podzemne vode na području crpilišta Vinokovščak ima nešto nižu temperaturu zbog toga što je izmjena voda brža te voda poprima temperaturu okoliša. pH vrijednosti podzemne vode se kreću oko 7 prema čemu je voda neutralna. Srednje vrijednosti izmjerene elektrolitičke vodljivosti (CND) ukazuju na povišenu mineralizaciju u prvom vodonosnom horizontu u odnosu na drugi vodonosni horizont (dublji). Ova pojava je posljedica povećanog sadržaja otopljenih tvari.

Također su uočene povišene koncentracije nitrata u prvom vodonosnom horizontu, a pogotovo na području crpilišta Varaždin gdje koncentracije nitrata prelaze MDK vrijednosti. Povišene koncentracije nitrata u prvom vodonosnom horizontu su posljedica antropogenog utjecaja tj. uzvodno od crpilišta Varaždin nalazi se čitav niz peradarskih farmi koje odlažu u svojoj okolini velike količine peradarskog otpada, a još je u tom području i intenzivna poljoprivredna proizvodnja pri čemu se uz prirodna gnojiva koriste i umjetna. Također su pokrovne naslage u tom području izrazito tanke. Na području crpilišta Bartolovec niže su koncentracije nitrata u prvom vodonosnom horizontu u odnosu na crpilište Varaždin no i u tom horizontu je uočen jači antropogeni utjecaj jer se u okolini nalaze farme, a i poljoprivredna proizvodnja je intenzivna. Niže koncentracije nitrata uočene su u drugom vodonosnom horizontu. Na području crpilišta Vinokoščak koncentracije nitrata su povišene, ali nisu iznad MDK vrijednosti. Također se i na ovom području nalaze farme i intenzivna je poljoprivredna proizvodnja.

2.3.4. Inicijalna odredba cjelina podzemnih voda i kemijskog stanja podzemnih voda Gorskog kotara – sliva Kupe

Odjeljivanje cjelina podzemnih voda na području gornjeg dijela sliva rijeke Kupe u geokemijskom smislu vršeno je na temelju postojećih hidrogeokemijskih i izotopnih pokazatelja izmjerenih u izvorskim vodama (Biondić. et al 1999). Izvori su izdvojeni s obzirom na porijeklo podzemnih voda koje dreniraju, uvjete napajanja i izmjena voda u vodonosniku te antropogenog opterećenja. Podaci o kakvoći izvorskih voda Kupe, Kupice, Male Belice i Žižića za razdoblje od 1986. do 2003. dobiveni su na korištenje od „Hrvatskih voda“, a rezultate analiza izvora u Skradu- Skrad-stara kaptaza, Skrad I, Skrad II, Skrad – željeznička stanica, izvori Frankopan, Gločevac, Ličanka, Jazbina, Mrzlica, Veliki Žljeb, Korito i Lokve-Mihićevo dobiveni su od tvrtke Komunalac iz Delnica.

Hidrogeokemijski facijes istraživanog područja karakterističan je za krške terene gdje u litološkom sastavu vodonosnika uz vapnence i dolomite poseban utjecaj na kemizam voda imaju klastične naslage paleozoika i gornjeg trijasa. Prema tome, izvorske vode na području gornjeg dijela sliva rijeke Kupe, izvor Kupe, Kupari, Zamost, Kupica, Zeleni Vir s obzirom na njihov osnovni ionski sastav pripadaju pretežito Ca-HCO₃ geokemijskom tipu, a izvorska voda Čabranke je CaMg-HCO₃ do MgCa-HCO₃ što je posljedica većeg udjela dolomita u sastavu vodonosnika. Izvori u čijem slivu se nalaze klastiti paleozoika i gornjeg trijasa (Zamost, Kupica i Zeleni Vir) odlikuju se nešto povišenim ukupnim koncentracijama elemenata, nekih teških metala, nemetala, prijelaznih elemenata, te elemenata lantanidske i aktinidske serije.

Najveće sličnosti u izmjerenim vrijednostima stabilnih izotopa kisika i vodika uočene su na izvorima Kupe i Kupari te Male i Velike Belice što ukazuje na njihovo zajedničko porijeklo i slične uvjete napajanja. Zatim, izotopno najbliži izvor Belicama je izvor Zamost (prema slivu izvora Kupe i Kupara) i izvor Kupice. Potpuno odvojena cjelina drenira se na izvoru rijeke Čabranke.

Izmjereni pokazatelji onečišćenja i iz njih izračunate aritmetičke sredine upućuju na činjenicu da su jedino izvori rijeke Kupe i Kupari u potpunosti bez antropogenog utjecaja i njihovo kemijsko stanje i stanje kakvoće prema EWFD je vrlo visoko. Koncentracije nitrata, ortofosfata i vrijednosti kemijske potrošnje kisika karakteristični su za čiste vodonosnike dinarskog krša.

Aritmetičke sredine vrijednosti promatranih pokazatelja na izvorima Zamost, Velika Belica, Mala Belica, Kupica i Zeleni Vir pokazuju nešto slabije kemijsko stanje i stanje kakvoće, a iz postojećih podataka je očito da se radi o povremenom bakteriološkom onečišćenju, zatim pojavi mineralnih ulja na izvoru Kupice, Maloj Belici i Zelenom Viru. Vjerojatno je glavna pojava onečišćenja vezana za septičke jame domaćinstava naselja u slivu i nekontrolirana odlagališta otpada. Evidentno je da tijekom hidrološki viših voda obilnije padaline i vlažnije sezone pogoduju većem onečišćenju i dok se u potpunosti ne riješi problem kanalizacijske infrastrukture i postojanje nekontroliranog odlaganja otpada u slivu onečišćenja spomenutih izvora je nemoguće spriječiti.

Podzemna voda koja istječe na izvoru Žižići bakteriološki je onečišćena što joj ugrožava stanje kakvoće, dok je kemijsko stanje obzirom na promatrane pokazatelje vrlo dobro.

Podaci o kakvoći izvorskih voda ostalih razmatranih izvora Skrad-stara kaptaza, Skrad I, Skrad II, Skrad – željeznička stanica, Frankopan, Gločevac, Jazbina, Mrzlica, Veliki Žljeb upućuju na povremeno loše stanje kakvoće zbog visoke kemijske potrošnje kisika, odnosno nazočnosti organskog onečišćenja. Izvori Korito i Lokve-Mihićevo nešto su boljeg kemijskog statusa, ali raspoloživi podaci prilično su nedostatni za procjenu kemijskog stanja i stanja kakvoće razmatranih izvorskih voda.

2.4. Važniji ekosustavi

Na području Crnomorskog sliva kao važniji ekosustavi izdvajaju se dva nacionalna parka (Plitvička jezera i Risnjak), te pet parkova prirode (Medvednica, Lonjsko polje, Papuk, Kopački rit, Žumberačko-Samoborsko gorje).

Većina ih se nalazi u planinskom, u pravilu slabo naseljenom području pa je očuvanje kakvoće podzemnih i površinskih voda na tom području razmjerno jednostavno.

U dolinskom području smješteni su samo parkovi prirode Lonjsko polje i Kopački rit.

Također, područja niže razine zaštite su park šume (Golubinjak, Japlenški vrh), strogi rezervati prirode (Bijele i Samarske stijene) i zaštićeni krajolici (Petehovac, Klek, Ozalj, Slunjčica, Kamačnik).

2.5. Korištenje prostora (land use)

Prikaz korištenje prostora na području Crnomorskog sliva temeljen je na podacima o prostiranju šuma i pašnjaka preuzetih iz Hidropedološke karte RH 1:300.000 (Agronomski fakultet) i podacima o prostiranju poljoprivrednih površina (oranica) dobivenih od stane Hrvatskih voda. Na temelju topografskih podataka mjerila 1:300.000 (Državna geodetska uprava) izdvojene su površine s većim naseljima.

Površine koje pokrivaju šume, pašnjaci, poljoprivredne površine (oranice) i naselja preklapljene su preko izdvojenih cjelina podzemnih voda i svakoj cjelini podzemne vode je pridružena površina koju zahvaća jedan od korisnika prostora unutar svake cjeline. Pokrivenost je izražena u postotku ukupne površine razmatrane vodne cjeline. Podaci su uneseni u bazu podataka.

2.6. Analiza pritisaka (opterećenja) i utjecaja na podzemnu vodu

U okviru analize pritisaka, odnosno opterećenja na podzemnu vodu, razmatrani su sljedeći pritisci:

1. opterećenje na količinsko stanje podzemne vode (crpljenje, hidrotehnički zahvati)
2. opterećenje od točkastih izvora onečišćenja
3. opterećenje od raspršenih izvora onečišćenja

2.6.1. Opterećenje na količinsko stanje podzemne vode

Količinsko stanje podzemnih voda na području Crnomorskog sliva je zadovoljavajuće. Regionalnog negativnog utjecaja na trajno sniženje razina podzemne vode u vodonosnicima intergranularne poroznosti praktički nema, osim u zapadnom dijelu savskog i središnjem dijelu dravskog vodonosnika. Međutim, ovo sniženje razina podzemne vode ne pripisuje se samo prevelikoj eksploataciji podzemne vode već i nekim drugim čimbenicima.

Na rijeci Savi su zapažene bitne psamološke, morfološke i hidrološke promjene. Mjerenja vučenog nanosa pokazala su smanjenje količine i promjera zrna. Primjerice,

rezultati mjerenja vučenog nanosa na vodomjernom profilu Podsused pokazuju da se pronos nanosa od 1978. godine smanjio za čak 20-50 puta (Trninić & Slamar, 1994). Budući da je Sava u izravnoj hidrauličkoj vezi s podzemljem, sniženje vodostaja izravno utječe i na sniženje razina podzemne vode. Analizom razina podzemne vode uočeno je njihovo sniženje za gotovo 2 m. Tendencija snižavanja vodostaja Save, a time i razina podzemne vode isključivo je rezultat antropoloških čimbenika (izgradnja hidroenergetskih objekata u Sloveniji, uređenje pritoka Save i bujičnih tokova, te regulacije korita Save i eksploatacija šljunka), a manjim dijelom crpljenjem velikih količina podzemne vode.

Izgradnja hidroenergetskih objekata, regulacija dravskog korita, kao i prekomjerna eksploatacija šljunka i pijeska iz riječnog korita uzrokovali su i globalno usijecanje korita Drave nizvodno od ušća Mure. Analize minimalnih godišnjih vodostaja Drave na Terezinom Polju u razdoblju od 1876. do 1967. godine, pokazale su prosječno snižavanje vodostaja za 2.23 cm/god, a u razdoblju izgradnje uzvodnih hidroelektrana, nakon 1968. godine, čak 4.2 cm/god (Bonacci & Trninić, 1992). Slični su trendovi zapaženi i na ostalim postajama donjeg toka Drave. Ovaj proces utječe i na snižavanje razina podzemne vode u neposrednom zaobalju i nije posljedica prekomjernog crpljenja podzemne vode.

Negativnog utjecaja na količinsko stanje podzemnih voda u krškim vodonosnicima za sada nije utvrđeno.

Detaljnija analiza kod sljedeće analize pritisaka i utjecaja na podzemne vode moći će se provesti nakon uspostave odgovarajućeg monitoringa dinamike podzemnih voda (količina i razina).

2.6.2. Opterećenje od točkastih izvora onečišćenja

Podaci o točkastim izvorima onečišćenja za detaljniju analizu bili su nedovoljni. Baza Hrvatskih voda koja nam je bila dostupna uključila je samo jedan manji broj industrijskih ispusta otpadnih voda u vodotoke i pri tome ne sadrži količine vode koje se ispuštaju u okoliš. Na isti način nedostaju otpadne vode kanalizacijskih sustava komunalnih otpadnih voda.

Budući nismo raspolagali s dovoljnim količinama podataka, pretpostavili smo da se najveće količine otpadnih voda ispuštaju unutar naselja čime smo praktički točkaste izvore koji se odnose na ispuste otpadnih voda, pretvorili u raspršene izvore onečišćenja i razmatrali ih kao takve.

Za buduću analizu točkastih izvora onečišćenja nužno je što prije pristupiti izradi odgovarajuće baze podataka o svim onečišćivačima uključivši, osim ispusta otpadnih voda, i odlagališta otpada.

2.6.3. Opterećenje od raspršenih izvora onečišćenja

U okviru analize utjecaja raspršenih izvora onečišćenja korišteni su podaci o pokrivenosti terena poljoprivrednim površinama (oranicama) i njihovom opterećenju dušikom, kalijem i fosforom, kao produktom uporabe hranjiva za uzgoj različitih poljoprivrednih kultura. Baza podataka preuzeta je od Hrvatskih voda. Utvrđeno je sljedeće:

- najveće količine dušika odnose se na površine u Hrvatskom Zagorju, u dolinama Ilove i Pakre, te u Požeškoj kotlini (0.25-0.3 t/ha), a iza njih slijedi varaždinsko i koprivničko-križevačko područje (0.15-0.2)
- najveće količine kalija odnose se na površine u Hrvatskom Zagorju (0.15-0.2 t/ha), a iza njih slijede varaždinsko i koprivničko-križevačko područje, doline Ilove i Pakre, Požeška kotlina (0.1-0.15 t/ha)
- najveće količine fosfora odnose se na površine u Hrvatskom Zagorju, u dolini Ilove i Pakre, te u Požeškoj kotlini (0.1-0.15 t/ha)
- najmanje količine svih navedenih elemenata odnose se na krško područje sliva Kupe, nizvodne Podravine i Baranje

S obzirom na hidrogeološke karakteristike područja na koja se odnose najveće količine gore navedenih elemenata izdvaja se sljedeće:

- Hrvatsko Zagorje
 - izgrađeno od slabo propusnih do nepropusnih naslaga neogenske starosti,
 - dominira površinsko otjecanje vode,
 - nema značajnijih izvorišta podzemne vode
- doline Ilove i Pakre
 - izgrađeno od slabo propusnih naslaga kvartarne starosti,
 - dominira površinsko otjecanje vode,
 - nema značajnijih izvorišta podzemne vode
- Požeška kotlina
 - izgrađeno od slabo propusnih naslaga pliokvartarne i kvartarne starosti,
 - dominira površinsko otjecanje vode,
 - nema značajnijih izvorišta podzemne vode
- varaždinsko područje
 - izgrađeno od dobro propusnih naslaga kvartarne starosti,
 - velike zalihe podzemne vode
 - podzemna voda se koristi za javnu vodoopskrbu
- koprivničko područje
 - izgrađeno od dobro propusnih naslaga kvartarne starosti,
 - značajno izvorište podzemne vode
 - podzemna voda se koristi za javnu vodoopskrbu
- križevačko područje
 - izgrađeno od slabo propusnih do nepropusnih naslaga neogenske starosti,
 - dominira površinsko otjecanje vode,
 - jedino značajnije izvorište podzemne vode je na dubini od 800 m (Vratno)

2.7. Procjena rizika

Ocjena rizika na cjeline podzemne vode načinjena je na temelju načinjene karakterizacije na bazi hidrogeoloških karakteristika, dostupnih podataka o količinskom stanju podzemnih voda, analize točkastih, odnosno raspršenih izvora onečišćenja (pritisci, opterećenje) i na temelju raspoloživih podataka o kakvoći podzemne vode u pojedinim cjelinama podzemne vode (utjecaj), koji su opisani u poglavlju 2.3. Karta procjene rizika za svaku cjelinu podzemne vode predstavlja konačan rezultat provedenih analiza i upućuje na potrebu provođenja mjera za uspostavu dobrog kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda.

Tijekom rada na ovoj problematici susreli smo se s nedostatkom brojnih podataka. Prema WFD, cjeline podzemne vode potrebno je svrstati u jednu od dvije kategorije: «postoji rizik» i «ne postoji rizik». U skladu s tim, cilj nam je bio iznaći način najoptimalnije procjene rizika, a da za sobom ne nosi velike negativne posljedice. Najviše nam je u tome pomogla literatura i iskustva ostalih europskih zemalja koje su prvu karakterizaciju vodnih cjelina već završile, a čija su izvješća dostupna na web-stranicama. Najoptimalnijim načinom nam se učinila kategorizacija rizika koja je provedena u UK (tablica 1). Upravo zbog istih razloga kao što su i naši (nedostatak podataka i vremena za njihovo prikupljanje) Engleska i Škotska su rizik podijelile u četiri kategorije.

Kategorija rizika (prema WFD)	Kategorije rizika (prema UK)	Mjere
Postoji rizik	Cjelina podzemne vode značajnog rizika	Primjerene mjere mogu početi što je prije izvedivo
	Cjelina podzemne vode vjerojatno značajnog rizika, ali je potrebno više informacija da se ovo stajalište potvrdi	Potrebno je poboljšati kvalitetu informacija do 2007. godine
Ne postoji rizik	Cjeline podzemne vode vjerojatno bez značajnog rizika, ali je potrebno više informacija da se ovo stajalište potvrdi	Potrebno je poboljšati kvalitetu informacija za sljedeće izvješće o procjeni rizika u 2013. godini kada slijedi revizija prema WFD
	Cjeline podzemne vode bez značajnog rizika	Izvješćem o procjeni rizika u 2013. godini treba definirati da li postoje značajne promjene ove kategorije

Tablica 1. UK kategorizacija rizika i potrebne mjere

Dvije kategorije su one koje zahtijevaju WFD. U jednu od njih svrstane su cjeline podzemnih voda sa značajnijim rizikom za koji postoje podaci čime je rizik određen sa sigurnošću, a u drugu cjeline podzemne vode za koje se sa sigurnošću može reći da rizik ne postoji. Ostale dvije kategorije odnose se na cjeline podzemne vode za koje nema dovoljno podataka da se sa sigurnošću definira postojanje, odnosno nepostojanje rizika, već se zasnivaju na pretpostavkama prema analogiji s drugim područjima sličnih hidrogeoloških karakteristika i

pritisaka (opterećenja). Time su vodne cjeline, svrstane u ove potonje dvije kategorije, ostavljene za detaljniju analizu kod sljedeće analize pritisaka i utjecaja.

Ako na nekoj vodnoj cjelini rizik postoji, to implicira sljedeće: uvođenje mjera kako bi se stanje popravilo, uključivanje prvo te vodne cjeline u proces planiranja upravljanja riječnim bazenima, razmatranje alternativnih koraka koje će eventualno trebati primijeniti (npr. potreba dužeg vremenskog razdoblja za uspostavljanje dobrog stanja voda za one vodne cjeline koje su jako onečišćene), razmatranje cjelina vode na kojima je moguće ostvariti dobar status vode bez pretjeranih financijskih sredstava. Vodne cjeline gdje rizik ne postoji nisu trenutno u centru zanimanja, ali će se u budućnosti revidirati.

Slična kategorizacija rizika vodnih cjelina primijenjena je i na područje Crnomorskog sliva. Sve izdvojene cjeline podzemnih voda podijeljene su u četiri kategorije:

- značajan rizik
- vjerojatno značajan rizik
- nema rizika i
- vjerojatno nema rizika

U “značajan rizik“ svrstane su cjeline podzemne vode u kojima je, na temelju podataka o razinama podzemnih voda i kakvoći podzemne vode, utvrđen stvarni negativni utjecaj na podzemne vode. To se prije svega odnosi na desnu obalu rijeke Drave na varaždinskom području gdje je sadržaj nitrata u podzemnoj vodi prvog vodonosnika dvostruko veći od maksimalno dozvoljenih koncentracija za pitku vodu. U značajan rizik je svrstano i zagrebačko područje, na kojemu kakvoća podzemne vode još uvijek uglavnom odgovara uvjetima za pitku vodu, međutim pojedini pokazatelji (sulfati, kloridi, ulja i masti, lakohlapljivi ugljikovodici, nitrati) upućuju na jak antropogeni utjecaj. Na istom se području bilježi i sniženje razina podzemnih voda, kako je to navedeno u poglavlju 2.6.1. Na krškom području u značajan rizik svrstane su dvije cjeline podzemne vode u Gorskom kotaru (Čabranka, Kupica) u kojima je utvrđen utjecaj od otpadnih komunalnih voda obližnjih naselja.

Cjeline podzemne vode svrstane u kategoriju “vjerojatno značajnog rizika“ odnose se na cjeline koje sadrže osnovne vodonosnike slabo zaštićene krovinskim naslagama, na kojima ima značajnijih pritisaka (opterećenja) od korištenja prostora, a negativan utjecaj na kakvoću podzemne vode nije jako izražen. Primjerice na crpilištu Nedelišće na lijevoj obali rijeke Drave sadržaj nitrata u podzemnoj vodi je nešto niži (do 5 mg/l N) od maksimalno dozvoljenih koncentracija u pitkoj vodi, što je odraz antropogenog utjecaja.

Cjeline podzemne vode svrstane u kategoriju „nema rizika“ uglavnom se odnose na cjeline koje sadrže neproduktivne stijene, ali i na cjeline koje sadrže uglavnom sekundarne vodonosnike na kojima nema značajnijih pritisaka (opterećenja) od korištenja prostora, a negativan utjecaj na kakvoću podzemne vode nije utvrđen. Izuzetak je vodna cjelina izvora Kupe gdje, iako se radi o cjelini vrlo visoke ranjivosti, nema potencijalnih onečišćivača u zaleđu (osim nekoliko manjih sela s vrlo malim brojem stanovnika), a budući se gotovo cijelo područje cjeline nalazi unutar granica Nacionalnog parka Risnjak, na čijem je području ograničena svaka djelatnost čovjeka koja može negativno utjecati na stanje okoliša (i kakvoću voda - površinskih i podzemnih), ova je cjelina izdvojena kao cjelina gdje nema rizika.

Cjeline podzemne vode svrstane u kategoriju „vjerojatno bez rizika“ uglavnom se odnose na cjeline koje sadrže osnovne i sekundarne vodonosnike koji se koriste za vodoopskrbu i koji su razmjerno dobro zaštićeni krovinskim naslagama, a negativan utjecaj na kakvoću podzemne vode nije bilo moguće utvrditi zbog nedostatka podataka, ali se prepostavlja da ga nema.

Cjeline podzemnih voda svrstane u kategorije “vjerojatno značajnog rizika” i “vjerojatno bez rizika” zahtjevaju točnije definiranje rizika u budućnosti nakon što se prikupi dovoljno informacija potrebnih za njegovu procjenu. Unatoč tomu, smatramo da ova prva analiza daje dobru osnovu za izradu optimalnog programa monitoringa podzemnih voda za daljnje definiranje i praćenje njihovog kvantitativnog i kvalitativnog stanja.

2.8. Praćenje stanja podzemnih voda (monitoring)

2.8.1. Praćenje količinskog stanja podzemne vode

Mreža praćenja količinskog stanja podzemnih voda, koja obuhvaća mjerenje razina podzemnih voda i količina istjecanja u pravilu je nedostatna. Općenito se može zaključiti da u Hrvatskoj ne postoji odgovarajuća mreža opažanja razina podzemne vode ni na lokalnoj, ni na regionalnoj razini.

Većina piezometara na kojima se danas mjere razine podzemnih voda u kvartarnim vodonosnicima u Dravskom i Savskom bazenu izvođena je za potrebe izgradnje različitih namjenskih objekata. Na području dravskog vodonosnika najveći broj piezometara postoji u zapadnim predjelima, gdje je za potrebe hidroelektrana Čakovec, Dubrava i Novo Virje načinjeno više desetaka uglavnom plitkih opažачkih bušotina. Nizvodno od Novog Virja i Ferdinandovca opažanje razina vode provodi se samo na postojećim crpilištima pitke vode, dok je opažanje razina izvan crpilišta općenito vrlo oskudno. Piezometri uključeni u mrežu opažanja na ovom području većim dijelom mjere razine podzemne vode u krovinskom sloju iznad vodonosnika, što pri interpretacijama može dovesti do krivih zaključaka o dinamici podzemne vode.

U vodonosniku u dolini rijeke Save opsežnije praćenje razina podzemne vode provodi se samo na širem zagrebačkom području, međutim i ovdje je piezometarska mreža razvijana prema potrebi, uglavnom u okviru projekata hidroelektrana. Tek s razvitkom ideje o velikom zagrebačkom crpilištu Črnkovec izveden je nešto veći broj opažачkih bušotina kojima se opažaju razine podzemne vode u tri vodonosnika po dubini, međutim takvih piezometara je razmjerno malo. Između Rugvice i Siska oscilacije podzemne vode prate se i u krovinskom polupropusnom sloju iznad vodonosnika i u vodonosniku. Nizvodno od Siska piezometarska mreža praktički ne postoji, a opažanje razine podzemne vode provodi se samo na postojećim crpilištima. Na području Istočne Slavonije postoji nekoliko profila s razmjerno plitkim bušotinama (načinjene za potrebe šumarstva) u kojima su se oscilacije razina podzemne vode pratile u krovinskom sloju, a mjerenja se već nekoliko godina ne provode. Nepostojanje opažачke mreže karakteristično je i za sve ostale manje vodonosnike.

Zbog ovakvih okolnosti jedan od osnovnih koraka za optimalno upravljanje vodama u budućnosti svakako je projektiranje i izvođenje kvalitetne piezometarske mreže na regionalnoj razini. Prilikom projektiranja opažačke mreže treba voditi računa o specifičnim hidrogeološkim uvjetima na pojedinim područjima kako bi mjereni podaci bili upotrebljivi za analize.

Analizom piezometarskih bušotina na kojima se provodi praćenje razina podzemnih voda ustanovljeno je da mnogima nedostaju podaci o položaju filtera, zbog čega je otežana interpretacija dinamike podzemnih voda. Budući je Institut za geološka istraživanja (Babić i dr., 1977) još davnih 70-tih godina provodio višegodišnja regionalna istraživanja porječja Drave i Dunava u okviru kojih je izveden i veći broj piezometara koji su danas uključeni u sustav mjerenja razina, bazu podataka (dobivenu od Hrvatskih voda) dopunili smo potrebnim podacima što je prikazano u GIS-u ovog projekta.

Istovremeno su, pregledom raspoloživih podataka o izvedenim piezometarskim bušotinama na području dravskog i savskog voodnosnika (iz baze IGI-a) izdvojene potencijalne bušotine na kojima je eventualno moguće praćenje razina podzemne vode. Međutim, nije poznato da li one još uvijek fizički postoje i da li su mjerenja u njima uopće moguća. Jedan od budućih zadataka mogao bi biti njihova provjera na terenu. Mjerenja na nekolicini piezometarskih bušotina u savskom dijelu istočne Slavonije su moguća što je prošle godine provjereno u okviru izrade hidrogeološke studije regionalnog crpilišta istočne Slavonije. Mjerenja na tim bušotinama provode se već jednu hidrološku godinu. U GIS-u priloženom ovom izvješću prikazane su sve piezometarske bušotine koje su na neki način uključene u monitoring (u obliku baze su dobivene od Hrvatskih voda), kao i piezometarske bušotine koje su odabrane za eventualno uključivanje u monitoring.

Sastavni dio svake opsežne hidrogeološke studije krških područja, ali i projekta zaštite izvorišta pitke vode je hidrološka analiza. Njome dobivamo neophodne podatke o stanju količina voda, odnosno stanju količina u uvjetima minimalnih, srednjih i maksimalnih voda.

Iako su ovakve analize neophodne, njima ne dobivamo uvijek podatke o količinama istjecanja na pojedinim izvorima, jer su vodomjerne postaje postavljene za potrebe određivanja stanja količina površinskih voda, odnosno bilanciranja slivova. Za dobivanje kvantitativnog stanja pojedinog vodotoka (bilance slivova) koriste se obrade stanja količina vode na utjecajnim vodomjernim profilima na rijekama. Samo su ponegdje postavljeni limnigrafi na samim izvorima kada se radi o najvećim izvorima u slivu (npr. Kupica, Kupa). Analizom svake pojedine izdvojene cjeline podzemne vode istaknuta je potreba uvođenja dodatnih točaka opažanja količina vode. To nisu svi izvori veći od 0.1 l/s, jer bi takav monitoring bilo vrlo teško organizirati već su to referentni izvori za svaku pojedinu cjelinu podzemne vode. Na njima je potrebno postaviti limnigrafe i uključiti ih u sustav DHMZ-a. Kao takvi su prikazani u GIS-u.

Visoke zone slivova u kršu predstavljaju veliki problem kod postavljanja sustava monitoringa za utvrđivanje stanja količina podzemne vode. Velike nadmorske visine, odnosno velike dubine do podzemne vode onemogućuju kvalitetno postavljanje sustava monitoringa. Sljedeći negativan element je nehomogenost krških terena, jer je vrlo teško odrediti relevantne točke opažanja, odnosno mjesta na kojima će biti izvedeni opažački objekti bez opsežnih dodatnih istraživanja. Također, te visoke zone slivova obično su

planinska područja gotovo bez stanovnika i industrije i iz tih visokih zona ne prijete opasnost od degradacije kakvoće podzemne vode.

Srednje stepenice slivova, odnosno zaravni na cca 600-800 m n.m. glavna su područja naseljenosti u krškim dijelovima Crnomorskog sliva. Dakle, najveće opasnosti od onečišćenja prijete iz tih zona slivova, ali je u njima također vrlo teško postaviti monitoring kvalitativnog i kvantitativnog stanja podzemnih voda zbog velikih dubina do vode. Glavne potencijalne točke iz kojih je moguća degradacija stanja kakvoće podzemnih voda su ponori povremenih ili stalnih vodotoka u koje se obično upuštaju otpadne vode naselja. Stoga predlažemo da se sustav opažanja količina i kakvoće organizira na odabranim povremenim i stalnim vodotocima prije samih ponora, odnosno prije njihovog poniranja u krško podzemlje. Iako su količine tih voda u odnosu na količine podzemne vode u vodonosnicima uglavnom razmjerno male i velika su razrjeđenja potencijalnog onečišćenja to su točke najveće prirodne ranjivosti vodonosnika. U projektima zaštite izvorišta pitke vode te ponorne zone izdvajaju se kao II. zone (visoke) zaštite, a postavljanje sustava monitoringa na njima može samo doprinijeti kvalitetnijoj zaštiti vodoopskrbnih izvora.

Predloženi sustav opažanja stanja količina podzemnih voda koncentriran je na srednje stepenice slivova na praćenje količina vode u povremenim ili stalnim vodotocima prije poniranja, te na zone istjecanja na određivanje stanja količina istjecanja na pojedinim važnijim izvorima.

2.8.2. Praćenje kvalitativnog stanja podzemne vode

Na temelju analize raspoloživih podataka o kakvoći podzemnih voda mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Mjerenja kakvoće voda provode se neujednačeno u vremenu, prostoru i učestalosti mjerenja pojedinih pokazatelja,
- Pokazatelji preporučeni smjernicama i njihovim kasnijim nadopunama (amonijak, fosfati, Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, K, Na, Zn, Cl⁻, SO₄²⁻, TOC itd.) u pravilu nisu obuhvaćeni monitoringom na svim objektima,
- Zbog nedostatnog niza podataka za većinu razmatranih mjesta opažanja u ovom izvješću ne mogu se slijediti preporuke iz tehničkog izvješća o statističkim aspektima identifikacije trendova onečišćenja podzemnih voda i objedinjavanja rezultata monitoringa (engl. – The EU WFD (2001): Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results“),
- Vrlo koristan napredak za potrebe utvrđivanja kvalitativnog stanja podzemnih voda u pojedinim cjelinama bio bi postignut kada bi se barem na svim crpilištima uključenim u javnu vodoopskrbu provodio obavezan monitoring u skladu s Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 46/1994).
- U skladu s Okvirnim smjernicama, nacionalnim tijelima ostavljeno je rangiranje kemijskog stanja i stanja kakvoće voda. Hrvatska prema tome i ovdje ima mogućnost djelomičnog korištenja svoje regulative odnosno primjenu Uredbe o klasifikaciji voda (NN 77/1998), gdje su vode klasificirane s obzirom na njihove opće ekološke funkcije. Uredbu samo treba

nadopuniti pokazateljima koje se odnose na sadržaj 33 prioritetne opasne tvari prema odluci 2455/2001/EC.

Nacrt prijedloga praćenja kemijskog stanja podzemnih voda (stanja kakvoće podzemnih voda) – I. verzija

Prema Zajedničkoj strategiji primjene WFD (22/60/EC), u dokumentu br. 7, koji se odnosi na monitoring podzemnih voda napominje se da monitoring kakvoće podzemnih voda treba biti izveden kako bi odgovorio na specifična pitanja i podržao izvršenje ciljeva zaštite okoliša (environmental objectives). Stoga i osnovna svrha monitoringa kakvoće je osiguravanje informacija koje se koriste pri klasifikaciji kemijskog stanja kakvoće podzemnih voda neke cjeline ili skupina cjelina podzemnih voda. Nadalje, svrha monitoringa treba poslužiti i za ustanovljavanje nazočnosti svakog značajnog trenda porasta koncentracije zagađivača u cjelini podzemne vode ili u trendu smanjenja tvari koja zagađuje (onečišćuje) cjelinu.

Uvjeti prema kojima treba donijeti procjenu o dobrom kemijskom stanju (stanju kakvoće podzemnih voda) su trojaki. Prije svega, koncentracija zagađivača (onečišćivača) ne smije se prikazivati kao efekt intruzije zaslanjenja ili nečeg drugog kada kao mjera promjena služi el. vodljivost. Koncentracija onečišćivača ne smije prelaziti standarde kakvoće relevantne u EC legislativi te koncentracija onečišćivača ne smije rezultirati neuspjehom u postizanju ciljeva u okolišu (Članak 4) prema podzemnim vodama ili bilo kakvo značajno smanjenje ekološke ili kemijske kakvoće vodenih ili kopnenih ekosustava koji direktno ovise o cjelini podzemnih voda. Ukoliko spomenuti ciljevi nisu postignuti, cjelina podzemne vode klasificira se kao „loša“ (engl. poor – siromašna, slaba) prema svom kemijskom stanju (stanju kakvoće).

Važno je istaknuti da se prema prijedlogu monitoringa stanja kakvoće (kemijskog stanja) cjeline podzemne vode, klasifikacija vrši samo s obzirom na koncentraciju tvari čija nazočnost je rezultat ljudske aktivnosti. Nadalje, povišena koncentracija tvari u neporemećenoj sredini cjeline podzemnih voda (npr. arsena) ne utječe na kemijsko stanje cjeline podzemne vode. Ali, ukoliko je prirodna pojava neke tvari uzrokovana ljudskom djelatnošću, npr. rudarenjem, to postaje relevantno za procjenu stanja kakvoće.

Dodatni kriterij za početnu točku kod obrnutog trenda (smanjenje onečišćenja) može biti specificiran u direktivi kćeri pod člankom 17 (Article 17). Zbog toga treba za svaku cjelinu podzemnih voda postaviti konceptualni model razumijevanja sustava podzemne vode te opasnosti i ponašanja onečišćivača, što omogućava predviđanje onih trendova koji će rezultirati ili već rezultiraju zagađenjem.

Činjenica da je poznavanje kemijskog sastava voda osnova za postavljanje konceptualnog modela hidrogeološkog sustava (Kapelj et al, 2000) neizostavno nameće potrebu njegovog praćenja pri uspostavi cjelina ili/i skupina cjelina podzemnih voda kao i tijekom kontrole sustava procijenjenih visokim rizikom. Zbog toga se i kroz koncept implementacije EWFD, predlaže uspostava tzv. **nadzornog ili preglednog (surveillance) i operativnog (operational) monitoringa** unutar cjelina podzemnih voda. Nadzorni (pregledni) monitoring treba biti temeljen na (DODATAK II - ANNEX II) na proceduri karakterizacije i procjeni rizika. Njegova osnovna zadaće je izdvajanje cjelina ili grupa cjelina

podzemnih voda pod rizikom i onih izvan rizika. Dok operacijskim monitoringom moraju biti obuhvaćene cjeline podzemnih voda pod rizikom što će pružiti podatke potrebne za ocjenu značajnog porasta ili smanjenja onečišćenja.

Pri odabiru mjesta monitoringa potrebno je odabrati karakteristična mjesta opažanja. Najpogodnija su mjesta javne vodoopskrbe i mjesta gdje podzemne vode značajno utječu na ekosustave površinskih voda i kopna.

S obzirom na opće dijelove strategije primjene WFD koje se odnose na monitoring kemijskog stanja (stanja kakvoće) podzemnih voda, od odabira pokazatelja, optimalizacije, osiguranja kvalitete/kontrola kvalitete metoda i tehnika određivanja i mjerenja pokazatelja, uzorkovanja i skladištenja uzoraka potrebno je slijediti navedene standarde EU (ISO i sl.) kao i postojeću hrvatsku legislativu.

Statistički je vrlo zahtjevno tražiti homogenu raspodjelu točaka opažanja jer su u slučaju podzemnih voda većeg dijela teritorija podunavskog sliva mjesta istjecanja (izvori) kao i mjesta zahvata (zdenci) u funkciji hidrogeoloških odnosa, odnosno predisponirani u skladu s istim.

Unutar do sada provedenog programa implementacije WFD, države članice imaju različite prijedloge dizajna monitoringa, vjerojatno u skladu s njihovim uvjetima, potrebama i u konačnici mogućnostima.

Statistički dio implementacije detaljno navodi preporuke polučene do danas provedenim testiranjem statističkih tehnika i metoda, poglavito onih koji se odnose na analizu trenda onečišćenja (kako rastućeg tako i obrnuto) i u skladu s tim potrebitom učestalošću i duljinom trajanja serija podataka (Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results).

Uzimajući u obzir sve navedeno, raznolikost hidrogeoloških obilježja cjelina podzemnih voda na području hrvatskog dijela podunavskog sliva, može se predložiti plan učestalosti monitoringa za potrebe vjerodostojne ocjene trenda pojedinih pokazatelja (Tablica 2). Odabir pokazatelja treba slijediti pokazatelje navedene u Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti voda za piće – A,B,C i D analize. Za vjerodostojno utemeljen suprotan trend (smanjenja onečišćenja) predlaže se udvostručenje razdoblja monitoringa uz sličnu učestalost.

Vodonosnici međuzrnske poroznosti	Učestalost/godišnje		Duljina trajanja - godina
	Min	Max	
Zatvoreni vodonosnik	1	1	8
Poluzatvoreni	2	4	4
Otvoreni vodonosnik	4	6	5
Vodonosnici pukotinske poroznosti			
Pukotinska poroznost	4	6	5
Pukotinsko-kaverozna (krš)	6	12	5

Tablica 2. Prijedlog učestalosti i duljine trajanja opažanja pokazatelja stanja kakvoće cjelina podzemnih voda

DOKUMENTACIJA

- Babić, Ž., Čakarun, I., Mraz, V. (1977): Izvještaj o regionalnim hidrogeološkim istraživanjima porječja donje Drave i dijela Dunava. Inst.geol.istr., Zagreb.
- Biondić, B., Brkić, Ž, Biondić, R. & Singer, D. (1996): Vodnogospodarska osnova Republike Hrvatske. Hidrogeologija. I. faza. Arhiv IGI, Zagreb.
- Biondić, B., Kapelj, S., Biondić, D., Biondić, R., Novosel, A. & Singer, D. (2002): Studija ugroženosti sliva Gornje Kupe. Arhiv IGI 7/02, Zagreb.
- Biondić, R., Marković, T. & Žugaj, R. (2003): Hidrogeološka istraživanja za zaštitu izvorišta pitke vode na području Vrbovskog. Arhiv IGI 63/03, Zagreb.
- Brkić, Ž., Singer, D. Biondić, R. (1995): Izrada geografskog informacijskog sustava za rijeku Dravu. Područje HE Novo Virje – I. Faza. Dio: Geologija i Hidrogeologija. Inst.geol.istr., Zagreb.
- Brkić, Ž., Singer, D. Biondić, R. (1996): GIS rijeke Drave. Područje HE Novo Virje – II. Faza. Inst.geol.istr., Zagreb.
- Brkić, Ž., Kapelj, S., Larva, O. & Marković, T. (2003): Hidrogeološka interpretacija hidrogeokemijskih istraživanja u aluvijalnom vodonosniku i kakvoće podzemne vode na širem području Zagreba. Inst.geol.istr., Zagreb.
- Geološki zavod – Zagreb (1982): Tehnički izvještaj o uspostavi piezometarske mreže za tehnička promatranja na HE Čakovec. Inst.geol.istr., Zagreb.
- Institut za geološka istraživanja: Osnovna geološka karta RH (M 1:100.000). Listovi: Delnice, Crikvenica, Črnomelj, Ogulin, Otočac, Slunj, Bihać, Udbina, Obrovac, Drvar, Knin. Arhiv IGI, Zagreb.
- Institut za geološka istraživanja: Hidrogeološka karta RH (M 1:200.000). Listovi: Rovinj, Pula i Ljubljana, Senj, Celje, Kostajnica, Zagreb. Arhiv IGI, Zagreb.
- Institut za geološka istraživanja: Osnovna hidrogeološka karta RH (M 1:100.000). Listovi: Delnice, Crikvenica, Črnomelj, Ogulin, Otočac, Slunj, Bihać, Udbina, Obrovac, Drvar, Knin. Baza hidrogeoloških podataka IGI, Zagreb.
- Kapelj, S., Marković, T., Kapelj, J. & J. Terzić (2002): Primjena hidrogeokemije u istraživanju hidrogeoloških sustava. Zbornik radova okruglog stola „Urbana hidrologija, Hrvatsko hidrološko društvo, Hrvatske vode, EKO Kaštelanski zaljev, Vodovod i kanalizacija- Split, 25.-26. travnja 2002, 61-74 str, Split.
- Nakić, Z. (2003): Uzroci i posljedice promjene kakvoće podzemne vode na zagrebačkom području. Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 113 str.
- Trninić, D. i Slamar, T. (1994): Hidrometeorološka analiza šireg područja Zagreba u funkciji vodoopskrbe. Zbornik radova Savjet. o vodoop. Zagreba, Zagreb.



Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing strategies to prevent and controll pollution of groundwater (Draft 1.0, 20.02.2003.)

Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN br.46/94)

Uredba o klasifikaciji voda (NN br. 77/98)

Water Framework Directive European Union (WFD-2000/60/EC)

<http://dataservice.eea.eu.int/appl/>

<http://www.sepa.org.uk/wfd-characterisation/html/index.html>

Pressures and impacts on Scotland's Water Environment

<http://www.sepa.org.uk/wfd-characterisation/html/index.html>

Water Framework Directive - South East River Basin District (Maps to support the Summary report of the characterisation, impacts and economics analyses required by Article 5)

<http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/>

Environment Agency: Summary groundwater body delineation method (u okviru projekta River Basin Characterisation Project)

Sastavili:

Dr.sc. Željka Brkić, znan.sur.

Mr.sc. Ranko Biondić, asistent

Dr.sc. Janislav Kapelj, znan.sur.

Dr.sc. Sanja Kapelj, viši znan.sur.