

JEZERA U HRVATSKOJ - KOLIKO IH STVARNO POZNAJEMO?

prof. emeritus Ognjen Bonacci, dipl. ing. građ.
prof. emerita Tanja Roje-Bonacci, dipl. ing. građ.

UVOD

Jezeru, uostalom kao i svaka druga masa vode u pokretu ili mirovanju, predstavljaju mjesta posebnog značenja i osobite vrijednosti. Ona predstavljaju prirodno i društveno bogatstvo, često neprocjenjive ekonomske, okolišne i ekološke vrijednosti. Međutim, ne smije se zaboraviti da jezera mogu uzrokovati brojne negativne posljedice pa čak i katastrofe.

Kad se o jezerima želi argumentirati i sustavno raspravljati logično je započeti od njihove precizne definicije i klasifikacije. I već tu započinju dileme i teško rješivi problemi. Löffler (2004.) svoj rad o jezerima započinje rečenicama: „S obzirom na brojnost nepokretnih vodnih tijela nije iznenađujuće da su sve postojeće i brojne klasifikacije i definicije jezera proizvoljne. Ponekad je nemoguće razlikovati tekuće („lotic“) vode od onih stajaćih („lentic“), na primjer gdje bi trebalo smjestiti plitke izdužene depresije uz riječna korita u kojima se voda zadržava tek desetak dana“.

Osnivač limnologije Forel (1901.) definira jezera kao tijela stajaće vode koja nemaju vezu s morem. Time u limnologiju unosi prvu i dosad neriješenu dilemu. Vezano uz tu definiciju oca limnologije najčešće se spominje primjer jezera Ichkeul koje se nalazi u sjevernom Tunisu kraj Bizerte. UNESCO je ovo jezero, kao i cijeli nacionalni park u kojem se ono nalazi, stavio na listu svjetske prirodne baštine, a od 1996. do 2006. su bili na listi ugroženih dijelova svjetske prirodne baštine. Ovo jezero ima golemu ekološku i ekonomsku nacionalnu važnost za Tunis, što je razumljivo za mediteransku zemlju koja pati od suša i nedostatka vode. U njega se tijekom hladnog i vlažnog razdoblja godine ulijeva šest otvorenih vodotoka sa slatkom vodom, od kojih samo jedan ne presuši. Tijekom toplog i sušnog dijela godine u ovo jezero dolazi do prodora morske vode iz Sredozemnog mora. Njegova voda se koristi za navodnjavanje, rekreaciju, turizam, pružanje podrške bogatim ekosustavima itd. Branama se pokušava spriječiti prodor slane morske vode, ali se bez obzira na to salinitet vode u njemu drastično povećao.

Timms (1992.) navodi definiciju jezera iz *Webster*-ovog rječnika tiskanog 1970. godine: „Jezero je veliko ili značajno tijelo stajaće slatke ili slane vode okruženo kopnom“. Ova definicija otvara drugo neriješeno pitanje. Kolike trebaju biti dimenzije vodnog tijela (površina, dubina i količina vode u njemu) da bi ga se moglo proglašiti jezerom?

Sljedeće otvoreno pitanje je: Spadaju li u jezera samo ona u kojima stalno ima vode ili se ona zadržava tek povremeno? Ako se voda povremeno skladišti u depresiji koliko dugo vremena ona tijekom jedne godine (barem u prosjeku) treba biti u njoj?

I konačno pitanje koje se rijetko tretira u literaturi: treba li se u jezera svrstati i kako ih tretirati stajaće vode akumulirane u podzemlju? Ovo je pitanje posebno interesantno za našu zemlju jer se u podzemlju kršu očito nalazi mnogo jezera o kojima znamo malo ili ni malo.

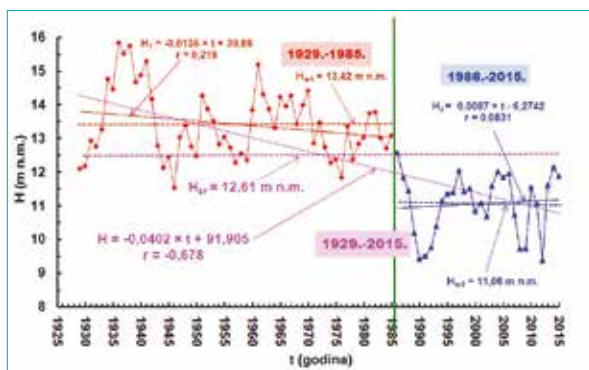
Ograničeni prostor ovog rada ne dozvoljava da se detaljno tretira ova složena problematika. Stoga će nastavno biti govora o nekim često prešućivanim aspektima upravljanja i korištenja najrazličitijih vrsta jezera u Hrvatskoj. O njima se mnogo manje zna, ne samo u široj javnosti, već i u znanstvenim krugovima. Ili, ako se i zna, onda se o njima ne govori javno. Takva vrsta šutnje ne pomaže ispunjavanju osnovnog cilja u koji se svi zdušno zaklinju (osobito političari i znanstvenici). Radi se o održivom upravljanju vodnih resursa ovih vrijednih i ugroženih prirodnih fenomena.

PRIRODNA JEZERA

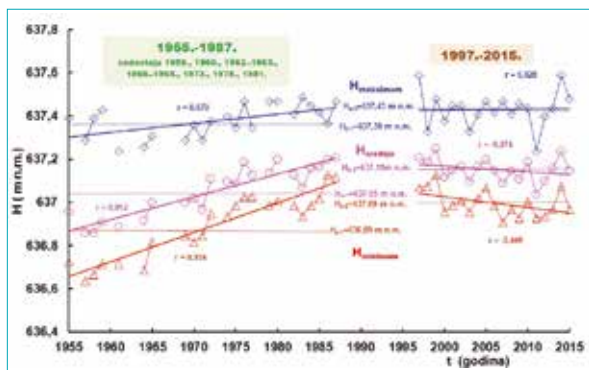
Vransko jezero na otoku Cresu definitivno predstavlja svjetski krški fenomen. O njemu ni znanstvena svjetska zajednica, a još manje javnost (pa čak i ona naša), nedovoljno znaju. Činjenica je da ga hrvatska znanstvena zajednica nije zadovoljavajuće prezentirala u relevantnoj znanstvenoj literaturi, osobito onoj objavljenj na engleskom jeziku u svjetski priznatim znanstvenim časopisima. Već sama činjenica da na malom, potpuno krškom otoku površine od

samo 405,71 km² postoji jezero čija se zapremina visoko kvalitetne slatke vode kreće između 197×10⁶ m³ i 241×10⁶ m³ izaziva pozornost. Tome treba dodati činjenicu da se radi o kriptodepresiji čije se dno nalazi na dubini 61,3 m ispod razine mora.

Prije nešto više od dvadeset godina jezero je bilo u žarištu zanimanja zbog činjenice naglog snižavanja razine vode za oko 5 metara. Taj krajnje zabrinjavajući proces donekle se zaustavio, što se može razabrati iz slike 1 na kojoj su ucrtane vrijednosti srednjih godišnjih vodostaja jezera u razdoblju 1929.-2015. (Bonacci, 2014.). Prosječna razina vode u razdoblju 1986.-2015. snizila se za 2,36 m u odnosu na prosječnu razinu u razdoblju 1929.-1985. Interes za izučavanjem jezera i traženja uzroka snižavanju razine vode u njemu kao i utjecaja tog procesa na ranjivi ekosustav naglo je pao. Zaključeno je da na pad razine vode jezera značajan utjecaj, osim povećanja temperatura zraka, ima i crpljenje vode za potrebe vodoopskrbe bitne za razvoj turizma. U posljednjih deset godina crpi se više vode nego u kritičnim godinama (1985.-1990.). Danas kao da ta činjenica nikoga ne zabrinjava. Razvoj turizma tražit će još više vode, a porast temperatura zraka će utjecati na povećanje isparavanja vode sa široke površine jezera koja se kreće između 5,28 km² i 5,98 km². Treba naglasiti da nije opaženo smanjivanje oborina na otoku Cresu. Ako bi se i taj proces pojavio, što ne bi bilo neočekivano, naglo snižavanje razine vode u jezeru bi se nastavilo. Očito je ponovo došlo vrijeme da se izučavanju jezera Vrana na otoku Cresu posveti dužna pažnja.



Slika 1: Niz srednjih godišnjih vodostaja Vranskog jezera na Cresu



Slika 2: Nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih vodostaja Prošćanskog jezera na postaji Prošće

O Plitvičkim jezerima kao jednom od hrvatskih nacionalnih ponosa gotovo da ne bi trebalo trošiti riječi. Cijeli Nacionalni park UNESCO je proglasio, među prvima u svijetu, svjetskom prirodnim baštinom još davne 1979. godine. Danas se vrlo glasno raspravlja o tome da je prostor Parka preopterećen turistima te da mu prijete pretjerana izgradnja apartmana. O toj problematici sredstva javnog informiranja uvelike izvještavaju najširu javnost prvenstveno stoga jer se radi o službenom upozorenju koje je došlo od strane UNESCO-a. Dobiva se dojam da je sve ostalo što se Nacionalnog parka i osobito samih Plitvičkih jezera u najboljem redu.

Ako se i pojave neke primjedbe, tretira ih se kao nepotrebno uzbunjivanje javnosti. Međutim, usprkos svemu uvijek ima sumnjivaca koji „mute bistru vodu“. Na slici 2 prikazana su tri niza karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih vodostaja Prošćanskog jezera na postaji Prošće (Bonacci, 2013.a; 2013.b). Jasno se vidi da se vodostaji u razdoblju od 1997. do danas bitno drugačije ponašaju od onih prije 1987. godine. Trend porasta vodostaja, koji je zabilježen u razdoblju 1955.-1987., preokrenut je u trend opadanja. Dok se porast vodostaja može objasniti prirodnim porastom sedrenih barijera od prosječno oko 1,5 cm godišnje, za opadanje razine vode u Prošćanskom jezeru za sada nema nikakvih objašnjenja. A čini se da ta, moguće opasna, moguće nevažna pojava, malo koga zanima. Na slici 3 ucrtana su tri niza karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka izmjerenih na postaji Kozjak most na jezeru Kozjak. Ovdje je moguće uočiti trendove opadanja protoka koji bi mogli biti i opasni za funkcioniranje složenog, vrijednog i ranjivog ekosustava. Na izlazu iz sustava jezera, na postaji Luketići na Korani, uočena su u razdoblju od 1996. češća presušivanja i trend opadanja srednjih godišnjih protoka (Bonacci, 2013.a). Postavlja se pitanje što se treba dogoditi da odgovorni shvate postojanje problema i počnu izučavati razloge kako bi se mogle poduzeti učinkovite mjere. A čini se da osim navedenih problema ima i drugih, možda i većih.

Crveno i Modro jezero kod Imotskog (prije svega Crveno jezero) spadaju među najdublje krške depresije (urušene doline?) ispunjene vodom na cijeloj planeti. (Bonacci et al., 2013.; Andrić i Bonacci, 2014.). Već samim tim zaslužuju bitno veću pažnju od one koju su do sada, od strane hrvatske znanosti i šire javnosti, dobili. O tome na svoj način snažno svjedoči slika 4 na kojoj su ucrtana dva presjeka kroz Crveno jezero objavljena u stručnoj literaturi. Dok se na slici 4a (Garašić, 1999.; 2000.; 2001.) vidi da na dnu jezera teče podzemna rijeka, na slici 4b (Andrić et al., 2013.; Andrić i Bonacci, 2014.) te rijeke nema. Radi se o golemoj i neprihvatljivoj razlici. Netko je od autora krivo izvijestio javnost i poslao ružnu sliku o pouzdanosti naših znanstvenih istraživanja. U razvijenim i odgovornim znanstvenim sredinama taj bi autor bio pozvan na red i sankcioniran. U našoj sredini tako nešto bi bilo presedan. Možda još veći problem leži u činjenici da su oba istraživanja bila organizirana od entuzijasta i bez prave financijske ili bilo koje druge pomoći društva

koje se diči svojom vodećom ulogom u istraživanju krša u svijetu. Tužna je činjenica da je posljednje sustavno i od tadašnjeg JAZU-a organizirano istraživanje ova dva doista svjetska krška fenomena bilo izvršeno prije skoro šezdeset godina (Petrik, 1960.; Bonacci, 2006.; 2009.).

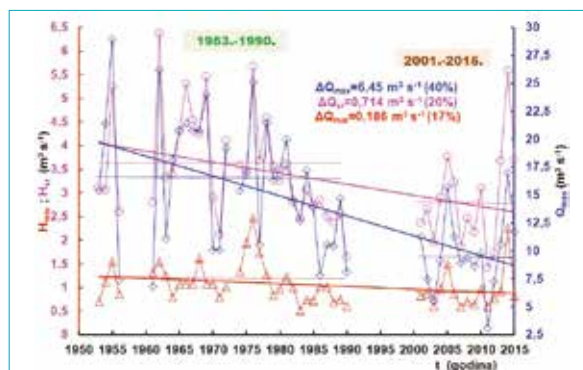
UMJETNE AKUMULACIJE

U ovom će poglavlju biti izneseno pet slučajeva utjecaja umjetnih akumulacija i rada hidroelektrana na hidrološki režim vodotoka te jedan slučaj utjecaja akumulacije koja nije građena za proizvodnju hidroenergije, nego isključivo za skladištenje vode za navodnjavanje i za obranu od poplava. Ukazat će se na manje ili više neočekivane posljedice koje su ovi važni antropogeni zahvati uzrokovali u našoj zemlji.

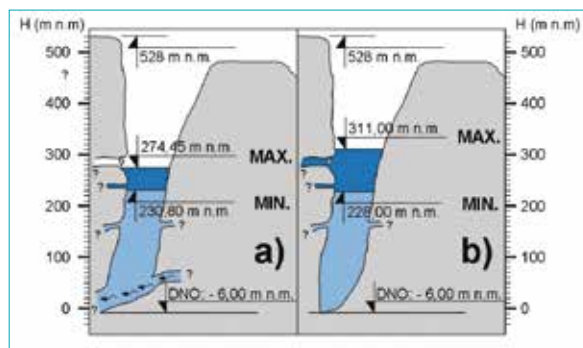
U Hrvatskoj na rijeci Dravi do sada su izgrađene sljedeće tri akumulacije i s njima vezane hidroelektrane: (1) **Varaždin** (1975.; $8 \times 10^6 \text{ m}^3$); (2) **Čakovec** (1982.; $51 \times 10^6 \text{ m}^3$); (3) **Dubrava** (1989.; $93,5 \times 10^6 \text{ m}^3$). Prvi broj u zagradi označava početak rada hidroelektrane, a drugi maksimalnu zapreminu akumulacije. Očito je da je nizvodni dio toka rijeke Drave pretrpio velike promjene uslijed rada spomenute tri hidroelektrane, ali ne zaboravimo i njih 19 na teritoriju Austrije i Slovenije.

Neki vidovi hidroloških promjena objavljeni su u radovima Bonacci et al. (1992.) i Bonacci i Oskoruš (2010.). Na slici 5 prikazan je niz godišnjih količina pronosa suspendiranog nanosa izražen u tonama godišnje, izmjeren na profilu Drave kod Botova u razdoblju 1967.–2015. Jasno se uočava da je izgradnjom svake pojedine akumulacije došlo do smanjivanja pronosa suspendiranog nanosa. Za očekivati je da je pronos vučenog nanosa bio još značajnije smanjen, ali o tome nema mjerenja. Pronos suspendiranog nanosa smanjen je na profilu Botovo u najnovijem razdoblju (1989.–2015.) za 3,37 puta u odnosu na razdoblje 1967.–1974. Naglašava se da je snižavanje pronosa suspendiranog nanosa za čak pet puta izmjereno i na nizvodnom profilu Drave kod Donjeg Miholjca. Doda li se tome trend sniženja vodostaja i protoka te porasta temperatura vode na Dravi u Hrvatskoj razloga za zabrinutost ili barem za potrebu detaljnog interdisciplinarnog izučavanja mogućih posljedica ne nedostaje.

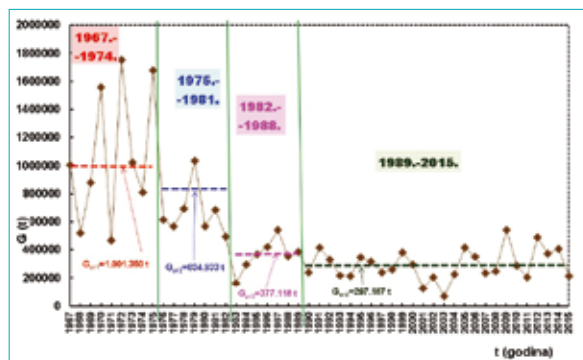
Akumulacija Boljunčica izgrađena je za potrebe skladištenje vode za navodnjavanje i za obranu od poplava Čepić polja (Bonacci i Rubinić, 2009.). Započela je s radom 1973., a zapremina akumulacije iznosi $6,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Zbog gubitaka vode akumulacija je u razdoblju 1977.–2005. bila u prosjeku godišnje ispunjena vodom samo s $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, što iznosi nešto manje od 8 % pune akumulacije. Osim toga, Čepić polje je bilo poplavljeno tijekom 1993. godine. Kao posljedica izgradnje akumulacije Boljunčica možda najveće iznenađenje predstavlja činjenica da je protok rječice Boljunčice u samom Čepić polju naglo smanjen za 58 % od prosječnih $1,282 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ u prirodnom stanju (1961.–1972.) na $0,538 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nakon izgradnje akumulacije (1973.–2005.). Grafički prikaz



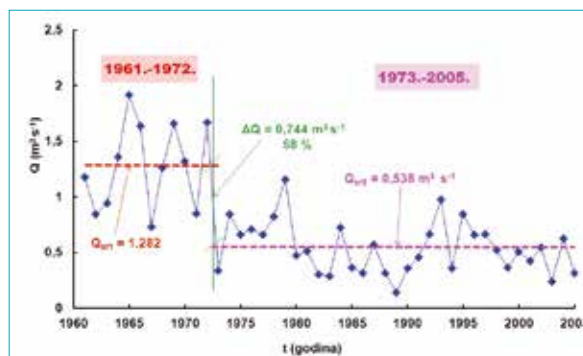
Slika 3: Nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka izmjerenih na postaji Kozjak most na jezera Kozjak



Slika 4: Dva različita presjeka kroz Crveno jezero kod Imotskog prikazan u objavljenim radovima: a) Garašić (1999.; 2000.; 2001.); b) Andrić et al., (2013); Andrić i Bonacci (2014)

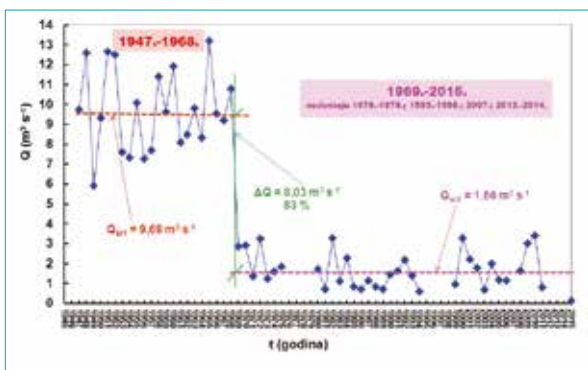


Slika 5: Niz godišnjih količina pronosa suspendiranog nanosa izmjeren na profilu Drave kod Botova



Slika 6: Niz srednjih godišnjih protoka Boljunčice na postaji Čepić

srednjih godišnjih protoka Boljunčice na postaji Čepić u razdoblju 1961.–2005. je dat na slici 6.



Slika 7: Niz srednjih godišnjih protoka Rječine na postaji Grohovo

Akumulacija Valići na Rječini izgrađena je za potrebe rada hidroelektrane Rijeka. Njezina maksimalna zapremina iznosi tek $0,6 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Započela je s radom krajem 1968. godine. Odmah po početku rada hidroelektrane Rijeka, u razdoblju 1969.-2015., srednji godišnji protok na nizvodnoj postaji Grohovo pao je za 83 %, s prirodnih $9,69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1947.-1968.) na $1,66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1969.-2015., nedostaju podatci za 1976.-1978., 1995.-1998., 2007., 2012.-2014.). Na slici 7 prikazan je niz srednjih godišnjih protoka Rječine na postaji Grohovo. Hidrološki režim na cijelom nizvodnom toku Rječine drastično je izmijenjen. Kako je to utjecalo na ekološki sustav ne samo vodotoka, nego i cijelog nizvodnog dijela sliva čini se da nije dovoljno (ako je ikako) istraženo.

Na slici 8 ucrtana je shematska situacija slivova Gornje i Donje Dobre te Zagorske Mrežnice, Tounjčice i Mrežnice s naznačenim položajem akumulacije Sabljaci, hidroelektrana Gojak i Lešće te pet hidroloških postaja čiji su srednji godišnji protoci analizirani u ovom radu. Akumulacija Sabljaci izgrađena je na vodotoku Zagorska Mrežnica te ima zapreminu od $3,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Voda iz spomenute akumulacije tunelom i cjevovodom se dovodi do hidroelektrane Gojak koja je započela s radom 1959. godine.

Vidljivo je da se radi o umjetnom prenošenju vode iz jednog sliva (Mrežnice) u drugi susjedni sliv (Dobre). Bilo je za očekivati da će takav postupak bitno utjecati na promjene hidrološkog režima u oba spomenuta sliva. Na slici 9 prikazani su nizovi karakterističnih godišnjih protoka izmjenjenih na tri postaje duž toka Donje Dobre. Dok je na Donjoj Dobri nizvodno od HE Gojak došlo do očekivanog porasta srednjih godišnjih protoka, na slivu Mrežnice došlo je do drastičnog smanjivanja srednjih godišnjih protoka (Bonacci i Andrić, 2010.a; 2010.b). Na postaji Ožanić na vodotoku Tounjčici protok je pao za 60 % s $16,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1948.-1958.) na $6,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1959.-1975.). Na postaji Mrzlo Polje na vodotoku Mrežnici protok je pao za 31 % s $38,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1948.-1958.) na $26,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1959.-2008.). Hidrološka, ali zasigurno i mnogo drastičnije ekološka situacija na slivu Donje Dobre dodatno se izmijenila izgradnjom hidroelektrane Lešće koja je puštena u rad 2010. godine. Bez obzira na brojne proteste zelenih i upozorenja nezavisnih stručnjaka stvarne posljedice izgradnje i funkcioniranja



Slika 8: Shematska situacija slivova Gornje i Donje Dobre te Zagorske Mrežnice, Tounjčice i Mrežnice s ucrtanim položajem akumulacije Sabljaci, hidroelektrana Gojak i Lešće te pet hidroloških postaja čiji su srednji godišnji protoci analizirani u ovom radu

ranja hidroelektrane Gojak, a osobito hidroelektrane Lešće do sada nisu objektivno i nezavisno procijenjene.

Pumpno akumulaciona (reverzibilna) hidroelektrana Velebit (RHE Velebit) predstavlja složeni sustav akumulacija, kanala i cjevovoda. Ona za svoj rad koristi vodu s Gračačkog platoa čija visini prelazi 550 m nad morem (m n. m.). U sustavu postoje sljedeće tri akumulacije: (1) Opsenica na rijeci Opsenici ($575,00 \text{ m n. m.}$; $2,7 \times 10^6 \text{ m}^3$); (2) Štikada na rijeci Ričici ($553,50 \text{ m n. m.}$; $13,65 \times 10^6 \text{ m}^3$); (3) Razovac na rijeci Zrmanji ($9,00 \text{ m n. m.}$; $1,84 \times 10^6 \text{ m}^3$). Prvi broj u zagradi se odnosi na maksimalni nivo vode u akumulaciji, a drugi predstavlja maksimalnu zapreminu vode u akumulaciji. Sustav je počeo s radom 1985. godine. Utjecaj rada ovog sustava na hidrološki režim rijeke Zrmanje krajnje je iznenađujuć, neočekivan i do sada neobjašnjen. Na slici 10 upisane su vrijednosti prosječnih godišnjih protoka na rijeci Zrmanji opaženi na devet postaja duž njenog toka, praktički od izvora do ušća u Jadransko more, opažene u razdoblju prije izgradnje RHE Velebit (1974.-1985.) i tijekom njenog rada (1985.-2013., nedostaju 1991.-1999.). Vidljivo je da je po izgradnji i puštanju u rad sustava RHE Velebit došlo do značajnog smanjenja srednjih godišnjih protoka na čak osam postaja. Jedino se značajno sniženje nije dogodilo na najnižvodnijoj postaji Jankovića buk. Detaljna analiza ovog fenomena opisana je u radovima Bonacci i Roje-Bonacci (2015.a; 2015.b).

Ključni dio složenog sustava hidroelektrana na Cetini čini akumulacija Buško blato. Njenom izgradnjom, ali ne zaboravimo i zahvatima na mnogim drugim dijelovima tog sustava (misli se prije svega na kompenzacioni bazen Lipa i na radove na sakupljanju površinskih voda u gornjem dijelu Livanjskog polja), došlo je do promjene hidrološkog režima duž toka rijeke Cetine nizvodno od akumulacije Peruća (Bonacci i Roje-Bonacci, 2003.). Akumulacija Buško Blato ima zapreminu od $782 \times 10^6 \text{ m}^3$ te ima maksimalnu kotu na 716,40 m n.m. Sustav je započeo s radom 1973. godine. Na slici 11a i 11b ucrtani su nizovi srednjih godišnjih protoka izvora Rumin Mali (slika 11a) i Rumin Veliki (slika 11b) opaženi u razdoblju prije izgradnje sustava retencija Lipa, akumulacija Buško blato i HE Orlovac (1950.-1972.) i poslije puštanja u rad (1973.-2013., nedostaju 1991.-1992.).

Radi se o dva krška izvora međusobno udaljena zračnom linijom samo 640 m. Voda iz izvora Mali Rumin iz-

bija na površinu na koti 326,8 m n. m., a iz izvora Veliki Rumin na koti 307,6 m n. m. Sa **slika 11a** je vidljivo da je s početkom rada sustava Buško blato prosječni godišnji protok izvora Mali Rumin pao za $1,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ili za 37 % u odnosu na prirodno stanje (1950.-1972.) kada je iznosio $2,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Kod mnogo izdašnjeg izvora Velikog Rumina prosječni godišnji protok pao je za $7,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ili za 63 % u odnosu na prirodno stanje kada je iznosio $19,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1950.-1972.) (Bonacci, 2015.; Bonacci et al., 2016.). Radi se o znanstveno vrlo interesantnom problemu koji bi trebalo objasniti, ne isključivo za potrebe znanosti, već primarno sa stanovišta utjecaja na ranjivi krški okoliš. Pri tome treba naglasiti da je praktično na svim krškim izvorima na lijevoj obali Cetine, od akumulacije Peruča do Trilja, došlo do ozbiljnih i naglih hidroloških promjena, bitno je naglasiti smanjenja srednjih godišnjih protoka. Nažalost, o ovoj se problematici uopće ne vodi računa.

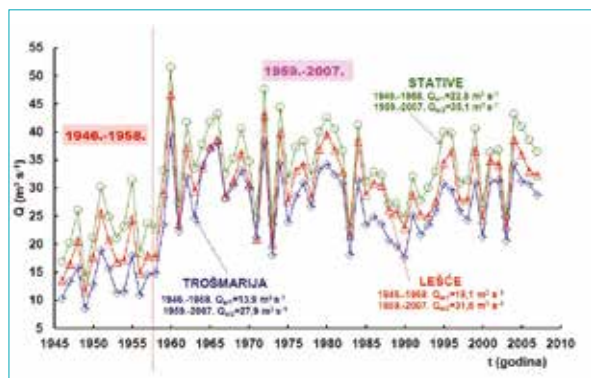
Za cjelovito i objektivno razumijevanje razloga pojave hidroloških promjena u slučajevima navedenim u ovom poglavlju treba imati na umu da na analiziranim slivovima, osim izgradnje akumulacija i pogona hidroelektrana, ima i drugih manje ili nikako kontroliranih antropoloških zahvata te da istovremeno djeluju i prirodne promjene koje se danas kolokvijalno svrstavaju pod pojam klimatskih promjena ili samo globalnog zagrijavanja, što nije točno. O toj problematici nije moglo biti govora u ovom kratkom prikazu.

JEZERA U PODZEMLJU KRŠA

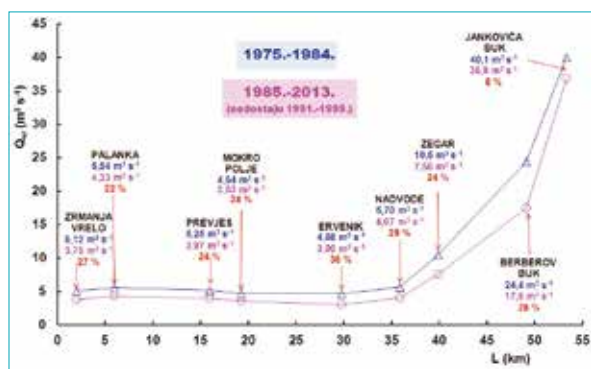
O problematici jezera koja se nalaze u podzemlju krša vrlo se malo zna ne samo kod nas, već i u cijelom svijetu, bez obzira na to što ona predstavljaju bitan dio krških vodonosnika iz kojih se kvalitetnom pitkom vodom snabdijeva između 20 % i 25 % svjetskog stanovništva (Ford i Williams, 2007.). U nekim dijelovima svijeta, kao npr. u Austriji i zemljama koje se nalaze na prostoru Dinarskog krša, vodom iz krških vodonosnika opskrbljuje se i do 50 % stanovništva (Hartman et al., 2014.).

Speleologija se u posljednjih nekoliko desetljeća iz sportske discipline transformirala u važnu, ako ne isključivo znanstvenu granu, onda barem u aktivnost koja je od velike pomoći u sakupljanju informacija iz teško dostupnih dijelova krških podzemnih prostora. Korištenjem novih i moćnih tehnologija kontinuiranog mjerenja najrazličitijih fizičkih, kemijskih i bioloških parametara speleološka istraživanja su postala bitnim i nezaobilaznim dijelom interdisciplinarnog izučavanja krškog podzemlja. Speleologija danas, a u budućnosti sve više, omogućava detaljno i kvantitativno opisivanje i shvaćanje svojstva ne samo vode, već i prostora, te živog svijeta koji boravi u dubokim i nepristupačnim predjelima krškog podzemlja.

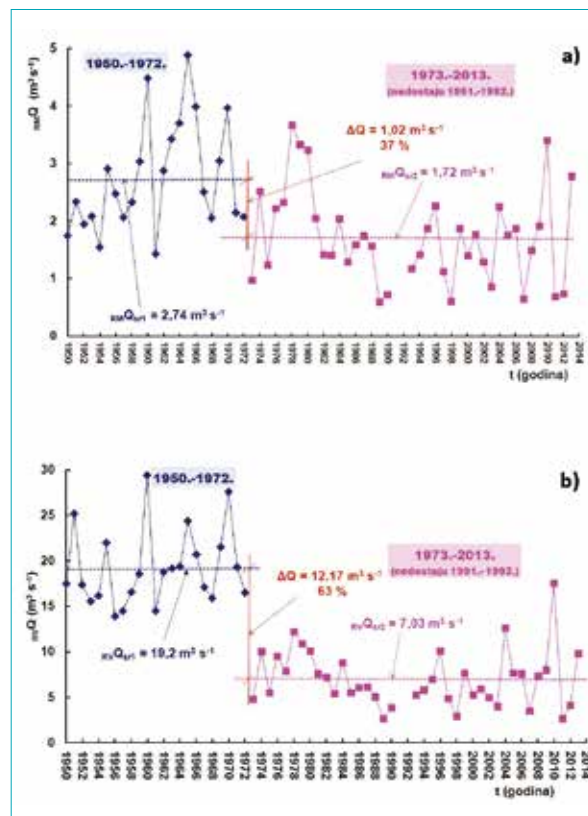
U mnogim špiljama u kršu otkrivena su prostrana jezera u kojima su čak organizirani turistički posjeti. Na primjer u Kriznoj jami u Sloveniji. Krš je karakterističan



Slika 9: Nizovi karakterističnih godišnjih protoka izmjenjenih na tri postaje duž toka Donje Dobre



Slika 10: Vrijednosti prosječnih godišnjih protoka na rijeci Zrmanji opaženi na devet postaja duž njenog toka opažene u razdoblju prije izgradnje RHE Velebit (1974.-1985.) i tijekom njenog rada (1985.-2013., nedostaju 1991.-1999.)



Slika 11: Nizovi srednjih godišnjih protoka izvora Rumin Mali i Rumin Veliki opaženi u razdoblju prije izgradnje sustava retencija Lipa, akumulacija Buško Blato i HE Orlovac (1950.-1972.) i poslije puštanja u rad (1973.-2013., nedostaju 1991.-1992.)

po tome što je veza podzemnih i površinskih voda izravna i tako snažna da je često nemoguće odvojeno tretirati podzemne od površinskih voda. Zbog toga se nerijetko događa da površinska jezera presuše, ali ostaju ona ispod površine (Ravbar i Šebela, 2004.; Mulec et al., 2005.; Petrič i Kogovšek, 2005.; Šebela, 2005.). Na određen način u kategoriju jezera koja presušuju spadaju i plavljena polja u kršu. Karakteristični i u cijelom svijetu poznati primjer je Cerknjsko jezero u Sloveniji (Kovačić, 2010.). Međutim, takvih fenomena ima mnogo i u Hrvatskoj, ali se o njima vodi nedovoljna stručna briga i oni su stoga nepoznati ne samo široj javnosti nego i znanosti i struci.

Osnovni cilj ovog rada je poticanje drugačijeg i sustavnog pristupa analizi i korištenju voda iz najrazličitijih vrsta tijela stajaće vode. Što se tiče onih uskladištenih, ispod površine u krškom podzemlju, mi tek trebamo početi raditi na njihovom sustavnom otkrivanju.

VLAŽNA PODRUČJA

Pojam vlažnog područja („*wetland*“) se definira u literaturi na vrlo različite načine. Razlog je što brojni autori i struke razmatraju različite čimbenike i parametre ključne sa stanovišta njihovog pristupa. Ta činjenica, koja se na prvi pogled čini zbunjujućom, u biti pokazuje fleksibilnost, složenost, ali i veliku važnost problematike vlažnih područja (Kent, 2001.). Bitno je ipak shvatiti da se radi o jednom vrlo važnom, ali i krajnje ugroženom (u cijelom svijetu) obliku stajaćih kopnenih voda, kolokvijalno nazvanih jezera.

O kako važnim prostorima se radi danas malo koga treba uvjeravati. Ramsarska konvencija o vlažnim područjima od međunarodnog značaja donesena je 2. veljače 1971., pod pokroviteljstvom UNESCO-a, u Ramsaru (Iran). Stupila je na snagu 21. prosinca 1975. Tom su konvencijom prepoznate neprocjenjivo vrijedne ekonomske, ekološke, kulturne i socijalne vrijednosti vlažnih prostora kao i planetarna opasnost od njihovog uništavanja. Taj opasni proces je u tijeku i neophodno ga je barem usporiti, ako ga se ne može zaustaviti.

Hrvatska je potpisala i ratificirala ovu konvenciju. Iz naše države na popisu se nalaze sljedeća vlažna područja ukupne površine 80.455 ha: (1) Crna Mlaka; (2) ušće Neretve; (3) Kopački rit; (4) Lonjsko polje; (5) Mokro polje. Svih pet spomenutih područja nisu isključivo nacionalnog značenja, neka od njih su od planetarne važnosti (prije svih Kopački rit i ušće Neretve). O njima se i zbog preuzetih međunarodnih obaveza vodi osobita briga koja ipak nije dovoljna da bi ih se potpuno sačuvalo od devastiranja. U ovom se radu želi naglasiti da u našoj zemlji ima mnogo više vlažnih područja koja bi se mogla staviti na popis Ramsarske konvencije, ali i nebrojeno drugih koja možda ne bi trebala biti na popisu, ali koja bi trebalo zaštititi. Tu se, prije svega, misli na ušća naših krških vodotoka u more (Rječine, Jadra, Žrnovnice itd.), ali i ušća manjih vodotoka u Dravu i Savu.

Posebno značajni prostori koje se može, bez ikakve dvojbe, svrstati među vlažna područja su najniži dijelovi

polja u kršu koja su u prirodnom stanju plavljena ili su bila plavljena tijekom hladnih i vlažnih razdoblja (Cerkvenik et al., 2017.). Međunarodna organizacija euroNATUR koja podupire projekte zaštite prirode u Europi organizirala je od 30. rujna do 1. listopada 2014. u Livnu radionicu „Krška polja kao vlažna područja od nacionalnog i međunarodnog značaja“. Zbornik radova pod nazivom „Dinaric karst poljes – floods for life“ tretirao je isključivo polja u Dinarskom kršu na području Bosne i Hercegovine (Sackl et al., 2014.). Na iskustvima tog skupa i publiciranih radova, stručnjaci iz Hrvatske bi trebali započeti sustavnu aktivnost vezano s poljima u kršu na teritoriju naše države.

ZAKLJUČAK

U ovom su radu pretežno navedeni primjeri zabrinjavajućih hidroloških promjena na prirodnim jezerima ili hidroloških promjena koje su bar dijelom posljedica funkcioniranja umjetnih jezera, tj. akumulacija. Nije se išlo detaljno u odvajanje antropogenih od prirodnih uzroka ovih pojava, jer za to u biti ne postoji dovoljno pouzdanih podataka. Isto tako se nije ulazilo niti u raspravu o tome koliko su te hidrološke promjene utjecale negativno na one druge promjene kao što su ekološke, društvene itd. Taj dio problematike trebaju rješavati odgovarajući stručnjaci. Hidrologija u tom smislu predstavlja polaznu točku i poveznicu za sve interdisciplinarnu analizu.

U Hrvatskoj se, nažalost, nerijetko događa da se pojedina jezera dosta intenzivno izučavaju od strane različitih grana znanosti, ali se rijetko (gotovo nikada) događa da se takva izučavanja pokušavaju izvoditi interdisciplinarnom suradnjom. Takvu praksu neophodno je napustiti i osigurati suvremen i učinkovit pristup ovoj problematici koja će omogućiti dugoročni i pouzdani razvoj svih vrsta jezera kao osobito vrijednih fenomena bitnih sa stanovišta pružanja podrške okolišu i cjelokupnom razvoju društva. U Hrvatskoj se, osim toga, mora intenzivirati rad na klasificiranju jezera i moglo bi se slobodno reći na otkrivanju novih stajaćih vodnih tijela.

Sve što je prethodno izneseno, a treba shvatiti da ima mnogo više toga što zbog ograničenog prostora nije mogli biti izneseno, ukazuje na činjenicu da izgradnja brana i rad hidroelektrana može rezultirati značajnim, teško predvidivim, ali nažalost, uglavnom dugoročno negativnim posljedicama. To upozorava na činjenicu da npr. utjecaj rada slovenskih hidroelektrana na Savi (do sada izgrađenih osam, a u projektiranju je još deset) na hidrološke, ekološke i brojne druge promjene koje će ona uzrokovati nizvodno, a osobito na sigurnost obrane od poplava Zagreba, nije u Hrvatskoj ozbiljno shvaćen. Vrijeme je da se odgovorni zamisle i započnu s odgovarajućim stručnim aktivnostima.

Na kraju treba reći (nikako ne za utjehu, ali istine radi) da slični, ako ne i gori problemi s upravljanjem i održivim razvojem prirodnih i umjetnih jezera, vlažnih područja i podzemnih jezera u kršu, postoje u cijelom svijetu. Spomenut

će se samo tri primjera: (1) Prespanskog jezera (Makedonija, Albanija i Grčka) (Popovska i Bonacci, 2007.); (2) Dojranskog jezera (Makedonija i Grčka) (Bonacci i Popovska, 2006.; Bonacci et al., 2015.); (3) jezera Panvotis (Grčka) (Alexakis et al., 2013.). Brojnost ugroženih nepokretnih vodenih masa na planeti znatno je veća i u stalnom je porastu. Najrazličitije vrste ozbiljnih problema na vodnim masama u mirovanju javljaju se u najrazvijenijim državama svijeta, moglo bi se zaključiti i više i češće, nego u onim manje razvijenim. Aktualan primjer je stanje umjetnih akumulacije u najbogatijoj saveznoj državi SAD-a, Kaliforniji. Glavni, ali ne i jedini, razlog za krajnje zabrinjavajuće stanje pripisuje se sušama koje tamo vladaju već nekoliko godina. Međutim, mnogi ozbiljni znanstvenici razloge nalaze i u krivoj strategiji upravljanja vodama u tom prostoru.

Bez obzira na sve probleme, u brojnim se državama vode ozbiljne stručne rasprave zasnovane na pouzdanim i detaljnim znanstvenim podlogama i analizama. Kod nas upravo nedostaje taj vid pristupa ovoj aktualnoj i strateški važnoj problematici. Stalno se netko, a osobito u Hrvatskoj moćna i nedodirljiva elektroprivreda, osjeća ugroženim ako se o posljedicama rada akumulacija, čijim vodnim resursima oni upravljaju, govori kritički. Stvari se,

nažalost, zbog toga prešućuju, "guraju pod tepih" i ne rješavaju. Isključivo sagledavanje pravog stanja stvari i suočavanje s istinom mogu pomoći da se problemi riješe ili barem ublaže i smanje negativne posljedice.

Ovaj rad nije pisan s namjerom da se kritizira izgradnja akumulacija i rad hidroelektrana. Štoviše, njihov rad u Hrvatskoj treba podržati i odati im priznanje na proizvodnji energije koja omogućuje razvoj društva. Međutim, bez obzira na njihovu izrazito važnu ulogu, ne smiju se zanemarivati niti kratkoročne, a osobito one dugoročne i ekološki negativne posljedice koje ovi sustavi uzrokuju. Interdisciplinarno izučavanje negativnih posljedica i javna rasprava o njima trebaju postati sastavni dio novog upravljačkog koncepta. Dosadašnja praksa, blago nazvana „guranje pod tepih“, treba biti zamijenjena javnom i iskrenom, na znanosti zasnovanom (bez uplitanja dnevne politike) diskusijom, koja treba rezultirati novim i boljim upravljačkim modelima. Teško je oteti se dojmu da u našoj znanstvenoj i široj društvenoj zajednici nismo spremni načiniti taj ključan pomak. Neka ovaj rad barem malo pridonese postizanju tog cilja. ■

LITERATURA

- Alexakis D.; Kagalou I.; Tsakiris G. (2013.) Assessment of pressures and impacts on surface water bodies of the Mediterranean. Case study: Pamvotis Lake, Greece. *Environmental Earth Sciences* 70(2):687-698.
- Andrić I.; Bonacci O.; Jukić B. (2013.) Rezultati najnovijih hidroloških i geomorfoloških istraživanja Crvenog jezera kod Imotskog. *Hrvatske vode* 21(86):348.
- Andrić I.; Bonacci O. (2014.) Morphological study of Red Lake in the Dinaric karst based on terrestrial laser scanning and sonar systems. *Acta Carsologica* 43(2-3):229-239.
- Bonacci O. (2006.) Crveno i Modro jezero kod Imotskog. *Hrvatske vode* 14(54):45-54.
- Bonacci O. (2009.) Crveno i Modro jezero - nepoznati i neiskorišteni fenomeni krša. *Imotske novine* III(26):20-23.
- Bonacci O. (2013.a) Zabrinjavajući hidrološki trendovi na slivu Plitvičkih jezera. *Hrvatske vode* 21(84):137-146.
- Bonacci O. (2013.b) Zabrinjavajući hidrološki trendovi na slivu Plitvičkih jezera-dodatak. *Hrvatske vode* 21(85):243.
- Bonacci O. (2014.) Analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu. *Hrvatske vode* 22(90):337-346.
- Bonacci O. (2015.) Hidrološka analiza krškog izvora Rumin Veliki. *Hrvatske vode* 23(93): 201-210.
- Bonacci O.; Andrić I. (2010.a) Hidrološka analiza krške rijeke Dobre. *Hrvatske vode* 18(72): 127-138.
- Bonacci O.; Andrić I. (2010.b) Impact of the inter-basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: an example from the Dinaric karst. *Hydrological Processes* 24(26):3852-3863.
- Bonacci O.; Andrić I.; Yamashiki Y. (2013.) Hydrology of Blue Lake in the Dinaric karst. *Hydrological Processes* 28(4):1890-1898.
- Bonacci O.; Buzjak N.; Roje-Bonacci T. (2016.) Changes in hydrological regime caused by human intervention in karst: the case of the Rumin Springs. *Hydrological Sciences Journal* 61(13):2387-2398.
- Bonacci O.; Oskoruš D. (2010.) The changes in the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime. *Environmental Earth Sciences* 59(8):1661-1670.
- Bonacci O.; Popovska C. (2006.) Dojransko jezero. *Hrvatska vodoprivreda* 158:14-21.
- Bonacci O.; Popovska C.; Geshovska V. (2015.) Analysis of transboundary Dojran Lake mean annual water level changes. *Environmental Earth Sciences* 73(7):3177-3185.
- Bonacci O.; Roje-Bonacci T. (2003.) The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina. *Hydrological Processes* 17(1):1-15.
- Bonacci O.; Roje-Bonacci T. (2015.a) Drastic hydrological changes caused by hydroelectrical development in karst: a case of the karst river Zrmanja (Croatia). *Environmental Earth Sciences* 74(9):6766-6777.
- Bonacci O.; Roje-Bonacci T. (2015.b) Analiza hidroloških promena duž toka reke Zrmanje. *Vodoprivreda* 47(276-278):177-186.
- Bonacci O.; Rubinić J. (2009.) Water losses from a reservoir built in karst: the example of the Boljunčica reservoir (Istria, Croatia). *Environmental Geology* 58 (2):339-345.

- Bonacci O.; Tadić Z.; Trninić D. (1992.) Effects of dams and reservoirs on the hydrological characteristics of the Drava River. *Regulated Rivers* 7(4):349–357.
- Cerkvenik R.; Kranjc A.; Mihevc A. (2017.) Karst wetlands in the Dinaric karst. In: Finlayson CM, Max C, Milton R, Prentice C, Davidson NC (urednici) *The wetland book. II: distribution, description and conservation*. Springer, Heidelberg. 1–15.
- Ford D, Williams P (2007.) *Karst hydrogeology and geomorphology*. J Wiley, Chichester.
- Forel FA. (1901.) *Handbuch der Seenkunde: allgemeine Limnologie*. J. Engelhorn, Stuttgart, 249 str.
- Garašić, M. (1999.): *Međunarodna speleoronilačka ekspedicija u Crveno jezero kraj Imotskog – Hrvatska vodoprivreda VIII(78):40–42*.
- Garašić, M. (2000.): *Speleološka istraživanja Crvenog jezera kraj Imotskog u Dinarskom kršu (Hrvatska). Zbornik radova 2. Hrvatskog geološkog kongresa. Cavtat (17.–20. 5. 2000.): 587–590*.
- Garašić, M. (2001.): *New speleohydrogeological research of Crveno jezero (Red Lake) near Imotski in Dinaric karst area (Croatia, Europe). Proceedings 13th International Congress of Speleology, Brasilia: 168–171*.
- Hartmann A.; Goldscheider N.; Wagener T.; Lange J.; Weiler M. (2014.) Karst water resources in a changing world: review of hydrological modelling approaches. *Reviews of Geophysics* 52(3):218–242.
- Kent DM (urednik) (2001.) *Applied wetlands science and technology*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Kovačić G. (2010.) An attempt towards an assessment of the Cerknice Polje water balance. *Acta Carsologica* 39(1):39–50.
- Löffler H. (2004.) The origin of lake basin. U: O'Sullivan PE, Reynolds CS (urednici) *The lake Handbook, Vol.1*. Blackwell Pbl, Malde, Oxford, Victoria, 8–59.
- Mulec J.; Mihevc A.; Pipan T (2005.) Presihajoća jezera na Pivškem. *Acta Carsologica* 34(1):543–565.
- Petrič M.; Kogovšek J (2005.) Hidrogeološke značilnosti območja presihajočih Pivških jezer. *Acta Carsologica* 34(3):599–618.
- Petrik M. (1960.) Hidrografska mjerenja u okolici Imotskog. *Ljetopis JAZU* 64:266–286.
- Popovska C, Bonacci O (2007.) Basic data of the hydrology of Lakes Ohrid and Prespa. *Hydrological Processes* 21(5):658–664.
- Ravbar N.; Šebela S. (2004.) The karst periodical lakes of Upper Pivka, Slovenia. *Acta Carsologica* 33(1):159–173.
- Sackl P.; Durst R.; Kotrošan D.; Stumberger B. (2014.) Dinaric karst poljes – floods for life. *euroNATUR, Radolfzell*.
- Šebela S. (2005.) Tektonske zanimivosti Pivške kotline. *Acta Carsologica* 34(3):566–581.
- Timms BV. (1992.) *Lake geomorphology*. Glenside Publishing, Adelaide, 180 str.