

HIDROLOŠKA ANALIZA KRŠKE RIJEKE ČIKOLE

prof. emeritus
Ognjen Bonacci, dipl. ing. građ.
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Sveučilišta u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split
ognjen.bonacci@gradst.hr

dr. sc. Josip Terzić, dipl. ing. geol.
Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, 10000 Zagreb

prof. emerita Tanja Roje-Bonacci
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Sveučilišta u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split

U radu je izvršena hidrološka analiza procesa koji se odvijaju duž toka rijeke Čikole koristeći mjerene podatke protoka na tri vodomjerne postaje (Ružić, Drniš i Ključice), oborine mjerene na četiri postaje (Knin, Drniš, Otavice i Muć), i temperature zraka mjerene na meteorološkoj postaji Drniš. Ovaj članak predstavlja novu obradu hidrologije krške rijeke Čikole. Ustanovljeno je da na dionici rijeke između postaja Drniš i Ključice postoje značajniji gubitci vode tijekom sušnog razdoblja. Čini se da između postaja Ružić i Drniš gubitaka poniranja vode u krško podzemlje nema ili su rijetki i neznčajni. Ustanovljeno je da su presušivanja vode na dionici Čikole od Ružića do Drniša nešto češća u posljednjih petnaestak godina, ali tu činjenicu tek treba potvrditi pouzdanijim mjerenjima. Utvrđeno je da izvor Čikole spada u krške izvore s ograničenim maksimalnim izlaznim kapacitetom. Primjenom metode Turca procijenjeno je da površina sliva rijeke Čikole do postaje Ružić iznosi oko 300 km².

Ključne riječi: hidrologija krša, površina sliva, gubitci vode, rijeka Čikola (Hrvatska)

1. UVOD

Zbog dinamičnog i kontinuiranog transporta vode preko kopnenih površina rijeke (otvoreni vodotoci) predstavljaju ključni čimbenik hidrološkog ciklusa. One vrše ulogu najznačajnijeg elementa planetarnih vodnih resursa. Većina stanovništva i ekosustava na Zemlji zavisi izravno ili posredno o vodi koja protječe otvorenim vodotocima te se koristi za piće, proizvodnju energije i hrane, prihranjivanje rezervi podzemnih voda te pružanje podrške ekosustavima. Doslovno rečeno, rijeke vrše funkciju krivotoka slivova i krajobraza (Bonacci, 2016.). U hrvatskom dijelu Dinarskog krša površinska hidrografija relativno je siromašna, a podzemna bogata. Stoga se u ovom radu uzima u obzir i podzemna komponenta tečenja, kako za sam izvor Čikole, tako i u pogledu poniranja nakon ulaska u kanjone nizvodno od Drniša i izviranja koje je kod visokih voda vjerojatno prisutno već prije posljednje postaje Ključice, a u srednjem dijelu toka čini se da je povezano samo s izvorom Torak.

Rijeke predstavljaju dinamične sustave čija se sva svojstva mijenjaju u različitim vremenskim skalama od onih koje se zbivaju u nekoliko minuta do onih trajanja geološkog vremena. Njihova promjenjivost i značaj najbolje se mogu pratiti i razumjeti analizom hidroloških svojstava. Detaljno poznavanje hidrologije svake pojedine rijeke osnovni je preduvjet za poduzimanje bilo kakovih aktivnosti u njenom slivu ili na njoj samoj. Održivi razvoj, a time i sigurna budućnost ljudi i pripadnih ekosustava, zavisi izravno o poznavanju, stalnom praćenju i izučavanju promjenjivih hidroloških procesa svakog otvorenog vodotoka. Boon et al. (2000.) naglašavaju da su u posljednjih sedamdesetak godina uslijed antropogenih zahvata rijeke od svih planetarnih ekosustava pretrpjele najintenzivnije i najagresivnije napade na njihova prirodna svojstva. Posljedice takvog ponašanja čovjeka brojne su i često nepopravljive štete.

Rijeke u kršu predstavljaju vrlo specifične i danas posebno ugrožene vodne fenomene (Bonacci et al., 2013.). Nerijetko se radi o otvorenim vodotocima koji povremeno presušu. U međunarodnoj znanstvenoj terminologiji postoji podjela na rijeke koje presušu (*engl.* intermittent river) i na povremene vodotoke (*engl.* ephemeral stream) (Datry et al., 2017.). Pod pojmom rijeka koje presušu podrazumijevaju se otvoreni vodotoci koji redovito presuše svake godine ili najmanje dva puta tijekom pet godina. Trajanje presušivanja je različito i kreće se od nekoliko dana do, u ekstremnim slučajevima, cijele godine. U povremene vodotoke spadaju oni otvoreni vodotoci u čijim se koritima voda pojavljuje isključivo kratkotrajno (nekoliko sati ili dana) i neposredno kao posljedica padanja obilnih i intenzivnih oborina. Rijeke koje presušu se javljaju u sušnim, polusušnim i krškim područjima koja zajedno pokrivaju više od trećine površine planeta. Brojnost ove vrste otvorenih vodotoka u značajnom je porastu kao posljedica promjena klime i antropogenih utjecaja, prije svega pretjeranog crpljenja površinskih i podzemnih voda.

Specifično hidrološko ponašanje otvorenih vodotoka u krškim terenima posljedica je izravne hidrauličke povezanosti površinskih i podzemnih voda. Brojni podzemni i površinski krški oblici omogućavaju brzi i izravni transport vode s površine u krško podzemlje, kao i iz podzemlja na površinu terena. Osnovno svojstvo krških sustava je postojanje kompleksnih i uglavnom nepoznatih sustava podzemnih krških provodnika najrazličitijih dimenzija, oblika i smjerova razvoja koji omogućuju transport vode na različite udaljenosti i u različitim, često neočekivanim smjerovima.

Rijeke ponornice (*engl.* sinking stream), otvoreni vodotoci koji gube vodu duž toka (*engl.* losing stream), ali i podzemne rijeke (*engl.* underground stream) česte su pojave u kršu. U ovom će članku biti analizirana hidrologija rijeke Čikole koja spada u otvoreni vodotok koji presušuje kako na izvoru tako i duž toka. Protječe krškim Petrovim poljem odakle je lokalno stanovništvo naziva Poljšćicom (koja protječe kroz polje). Istovremeno Čikola je vodotok koji gubi vodu duž toka. Rijeka koja gubi vodu nizvodno duž toka predstavlja otvoreni vodotok u kojem voda s površine postepeno ponire kroz krške šupljine u koritu, na dužim ili kraćim, ali samo određenim, dionicama korita, prihranjujući podzemni krški vodonosnik. Poniranje vode iz korita u krško podzemlje odvija se kroz male krške pukotine koje igraju ulogu ponora nevelikog kapaciteta poniranja. Poniranje se odvija u situacijama kad je razina podzemne voda pripadnog krškog vodonosnika niža od dna korita vodotoka. Takova se situacija ne javlja tijekom cijele godine, već pretežno u sušnom i toplom razdoblju godine. Tijekom vlažnog razdoblja razina podzemne vode uobičajeno je viša od razine dna vodotoka i tada podzemne vode prihranjuju vode koje teku otvorenim vodotokom. Za rijeke u Dinarskom kršu ovo je pravilo donekle upitno, jer su razine podzemne vode često i

stalno znatno niže od razine vode u rijekama. Sličan je slučaj i s dijelom toka rijeke Čikole nakon ulaska u kanjon.

Dinarski krš Hrvatske obiluje fasciniranim vodnim fenomenima. Pri tome su neki od tih krških fenomena dobro izučeni. To se, prije svega, odnosi na rijeke Liku, Gacku, Krku i Cetinu, Vransko jezero na otoku Cresu, Crveno i Modro jezero kod Imotskog, krške izvore Rječine, Jadra, Omble i još neke. Navedeni fenomeni prikazani su u domaćim i međunarodnim znanstvenim publikacijama, što za posljedicu ima da je domaća i međunarodna znanstvena zajednica relativno dobro upoznata s njihovim često jedinstvenim i fasciniranim karakteristikama. Istovremeno brojni drugi, vjerojatno jednako tako značajni i za znanost o procesima u kršu ključni fenomeni u cijelosti su nepoznati. Među takove „zaboravljene krške ljepotice“ spada i rijeka Čikola. U ovom članku će se pokušati „ispraviti nepravda“ prema jednom od takovih vodotoka našeg dijela Dinarskog krša. Nastavno će, koliko to postojeći hidrološki podatci omogućavaju, biti izvršena isključivo hidrološka analiza duž njenog toka zasnovana na mjerenjima vršenim na tri vodomjerne postaje.

Kako se danas iz izvora Čikole kvalitetnom pitkom vodom snabdijeva grad Drniš i nekoliko okolnih naselja, ova bi hidrološka obrada mogla i trebala biti od značaja za planiranje daljnjih interdisciplinarnih (hidrološko-hidrogeološko-ekoloških) istražnih radova koji bi trebali dati pouzdanije odgovore na pitanje o mogućnosti crpljenja dodatnih količina vode iz krškog vodonosnika koji prihranjuje izvor ove rijeke.

Ekološku vrijednost Čikoli predstavlja činjenica da u njoj žive dva endema Hrvatske. Radi se o turskom klenu (*Telestes tursky*) i dalmatinskoj gaovici (*Phoxinellus dalmaticus*). Obje riblje vrste naseljavaju isključivo rijeke Krku i Čikolu. Turski se klen tijekom sušnog razdoblja povlači u podzemne vode, najviše u sam izvor Čikole. Domaće su vrste danas potisnute vrlo brojnim unesenim invazivnim vrstama.

U ovom su članku obrađeni raspoloživi podatci do uključivo 2016. godine. Treba napomenuti da su hidrološke analize sliva Čikole izvršene u dva neobjavljena elaborata (Stepinac, 1972.; Žugaj i Srebrenović, 1987.) od kojih je prošlo dugih 54 i 31 godina.

2. RASPOLOŽIVE HIDROLOŠKE PODLOGE I OSNOVNI PODATCI O SLIVU BITNI ZA HIDROLOŠKU ANALIZU

Uspješnost bilo koje od hidroloških analiza otvorenog vodotoka prvenstveno zavisi od raspoloživih podataka. U slučaju rijeke Čikole pozitivan preduvjet za uspješnu analizu predstavlja činjenica da na njenom kratkom vodotoku postoje čak tri vodomjerne postaje čiji su osnovni podatci navedeni u [tablici 1](#). Za dužinu rijeke Čikole najčešće se navode (i dalje nekritički citiraju, čak i navodeći da je to dužina od izvora Čikole do utoka u

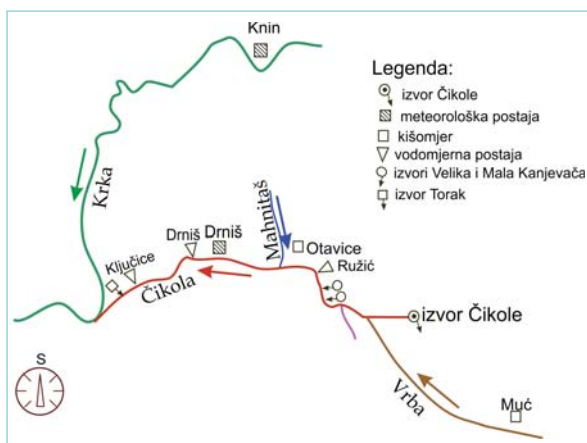
Tablica 1: Osnovne karakteristike tri vodomjerne postaje duž toka rijeke Čikola

Naziv postaje	Udaljenost od izvora -L (km)	Kota nule H (m nm)	Raspoloživo razdoblje	Godine koje nedostaju
RUŽIĆ	6,6	273,781	1947.-2016.	1981.; 1991.-2002.
DRNIŠ	19,0	260,600	1979.-2016.	1991.-1997.
KLJUČICE	30,5	81,310	1987.-2016.	1992.-1994.; 2008.

Krku) vrijednosti od oko 47 do 48 km, što nije točno, jer taj podatak kao početak rijeke Čikole uzima izvor Vrbe, njene pritoke kod Muća, s upitnim početkom. U ovom je radu prikazana dužina rijeke Čikole prema digitalnoj karti RH Mj. 1:25.000 koja iznosi 39 km od izvora Čikole u Mirlović polju do utoka u Krku kod Nos Kalika. Sve su ostale udaljenosti spomenute u članku mjerene po koritu rijeke, od izvora Čikole.

Na slici 1 je dan shematizirani prikaz toka Čikole na kojem su ucrtani položaji tri vodomjerne postaje (Ružić, Drniš i Ključice) te lijevoobalni prtok Vrba, kao i desnoobalni pritoci povremeni izvori Velika i Mala Kanjevača i bujica Mahnišaš. Treba napomenuti da duž toka postoji još nekoliko manjih bujičnih pritoka koji ne utječu značajnije na hidrološki režim Čikole. Svi spomenuti pritoci, među njima i onaj najznačajniji Vrba, ili presušuju ili spadaju u povremene vodotoke ili izvore. Činjenica je da i sam izvor Čikole presušuje. Da bi se dobila pouzdanija predodžba o karakteru rijeke Čikole na slici 2 se nalaze fotografije tri vodomjerne postaje na rijeci Čikoli (A - Ružić; B - Drniš; C - Ključice).

Pretežiti dio sliva izvora rijeke Čikole izgrađen je od propusnih karbonatnih stijena. Sama površina sliva povremenog izvora, pa prema tome niti rijeke Čikole, nije pouzdano definirana, ali se zna da sliv na jugoistoku graniči sa slivom izvora Jadra, na jugu sa slivom izvora Pantana i podzemno izvora Torak, na sjeverozapadu sa slivom rijeke Krke te na sjeveru i sjeveroistoku sa slivom rijeke Cetine (Fritz et al., 1993.).



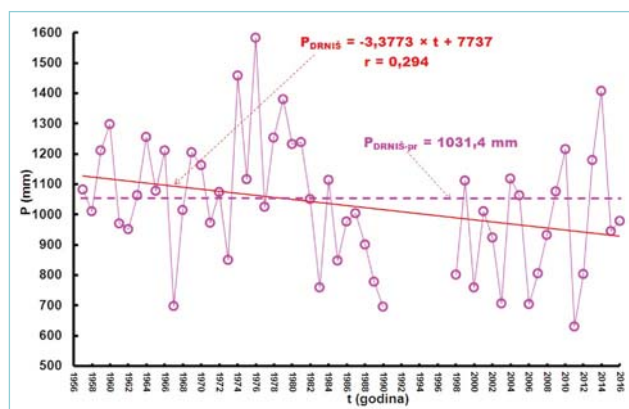
Slika 1: Shematska situacija rijeke Čikole s ucrtanim položajima tri vodomjerne postaje, meteoroloških postaja, kišomjera i nekoliko važnijih pritoka

Slika 2: Fotografije tri vodomjerne postaje na rijeci Čikoli: A - Ružić; B - Drniš; C - Ključice (snimio J. Terzić)

Detaljnije izučavanje hidroloških i hidrogeoloških svojstva Čikole vezano je s činjenicom da se iz njenog izvora grad Drniš i okolna naselja snabdijevaju kvalitetnom pitkom vodom. Vezano s korištenjem voda izvora Čikole za opskrbu vodom regije prve (Šarin, 1983.), a potom i brojne druge najopsežnije pokuse crpljenja izvodili su stručnjaci Hrvatskog geološkog instituta (Terzić i Frangen, 2010.) Eksploatacija podzemne vode iz izvora Čikole vrši se s površine iz spilje pomoću četiri bušena bunara promjera 750 mm, dubine 54 m. Ulaz u izvorsku spilju nalazi se na koti 279 m nad morem (m nm). Tijekom samo nekoliko noćnih sati danas se iz izvora crpi maksimalno 180 l/s.

Najveći prtok Vrba se ulijeva u Čikolu 960 m nizvodno od njenog izvora. Voda iz povremenih izvora Velika i Mala Kanjevača ulijeva se u Čikolu 2,5 km, odnosno 2,9 km nizvodno od izvora Čikole. Poslije obilnih intenzivnih oborina Čikola nerijetko poplavi Petrovo polje. Trajanje ovih poplava nije dugotrajno kao u slučajevima ostalih krških polja Dinarskog krša.

Klimatske karakteristike sliva Čikole mogu se opisati kao mješavina kontinentalne i mediteranske klime, vrućih i sušnih ljeta te hladnih i vlažnih zima. Na slici 3 prikazan je niz godišnjih oborina opažen na meteorološkoj postaji Drniš u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1991.-1997.). Prosječna godišnja oborina u raspoloživom razdoblju iznosila je 1031,4 mm, a kretala se u rasponu od minimalne vrijednosti 630,1 mm opažene 2011. godine do maksimalne vrijednosti od 1581,8 mm izmjerene 1976. godine. Na slici 3 ucrtan je i pravac regresije koji ukazuje na postojanje trenda snižavanja oborina. O statističkoj značajnosti ovog trenda nema smisla donositi zaključke, pošto nedostaju podatci mjereni u razdoblju od čak sedam godina (1991.-1997.).

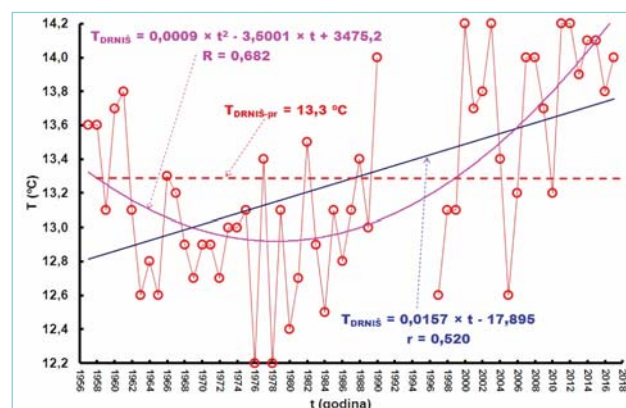


Slika 3: Niz godišnjih oborina opažen na meteorološkoj postaji Drniš u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1991.-1997.)

U članku su za neke od u daljnjem tekstu opisanih analiza korišteni i podatci oborina mjenjen na kišomjeru Muć, s čijim se podacima raspolagalo za razdoblje 1991.-2016. Kišomjer Muć važan je stoga jer se na njemu mjeri oborina koja prihranjuje sliv glavne pritoke Čikole, Vrbe.

Treba naglasiti da je koeficijent linearne korelacije između godišnjih oborina Muća i Drniša u razdoblju zajedničkog rada (1998.-2016.) iznosio, $r=0,892$, što jasno ukazuje na značajnu sličnost njihovih oborinskih režima. Međutim, prosječne oborine izmjerene u Drnišu u spomenutom razdoblju od 19 godina bile su 956 mm, dok su u Muću bile znatno više, te su iznosile 1290 mm. Na kišomjeru Otavice u istom su razdoblju izmjerene prosječne oborine od 992 mm, a u Kninu od 1064 mm. Nadmorska visina kišomjera Muć za oko 150 m je viša od one na kojoj je lociran kišomjer u Drnišu. Očigledno je da razvijena orografija terena ima značajan utjecaj na količinu oborina, ali ne mijenja njihov režim u cijelom slivu (regiji) tijekom godine. To je moguće zaključiti na osnovi vrijednosti koeficijenta linearne korelacije između različitih parova godišnjih oborina istovremeno mjenjenih na četiri postaje (Knin, Otavice, Drniš i Muć) koje se kreću oko vrijednosti od, $r=0,900$. Najviše oborina na cijelom slivu tijekom godine padne u studenom, a najmanje u lipnju, prosječno oko tri puta manje nego u studenom.

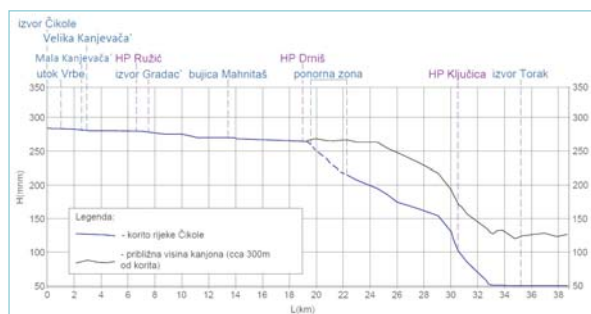
Na slici 4 je ucrtan niz godišnjih temperatura zraka opažen na meteorološkoj postaji Drniš u razdoblju 1957.-2017. (nedostaju 1991.-1996.). Ucrtani su i pravac linearne regresije i krivulja drugog reda s pripadnim koeficijentima linearne, r , i indeksom nelinearne, R , korelacije. Prosječna srednja godišnja temperatura zraka u raspoloživom je razdoblju iznosila 13,3°C. Minimalna srednja godišnja temperatura zraka od 12,2°C bila je izmjerena 1976. i 1978. godine. Maksimalna srednja godišnja temperatura od 14,2°C izmjerena je 2000., 2003., 2011. i 2012. godine. Koeficijent linearne korelacije, $r=0,520$, manji je od indeksa nelinearne korelacije, $R=0,682$, što ukazuje da trend porasta vremenskog niza srednjih godišnjih temperatura zraka nije linearan. Iz grafičkog prikaza na slici 4 može se zaključiti da su temperature zraka od 1998. godine u značajnijem porastu u odnosu na prethodno razdoblje, što je u suglasnosti s analizama izvršenim na brojnim meteorološkim postajama u Hrvatskoj (Bonacci, 2010.). U raspoloživom razdoblju na meteorološkoj postaji Drniš izmjerena su najniža i najviša srednja dnevna temperatura u iznosu od -9,8°C i 32,9°C.



Slika 4: Niz godišnjih temperatura zraka opažen na meteorološkoj postaji Drniš u razdoblju 1957.-2017. (nedostaju 1991.-1996.)

3. ANALIZA SREDNJIH I PROSJEČNIH PROTOKA DUŽ TOKA

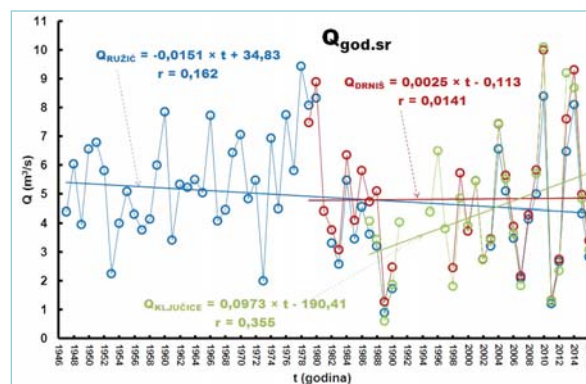
U nastavnom dijelu ovog rada naglasak hidrološke analize bit će stavljen na izučavanje hidrološkog ponašanja duž toka rijeke Čikole korištenjem raspoloživih podataka o protocima izmjerenim na tri vodomjerne postaje duž njenog toka. Treba napomenuti da današnji tok rijeke Čikole kroz Petrovo polje nije prirodan. Riječno korito regulirano je još u doba Austro-Ugarske Monarhije 1908. godine s ciljem sprječavanja poplava u polju tijekom vegetacijskog razdoblja i sprječavanja širenja malarije. Na slici 5 ucrtan je uzdužni profil kroz korito rijeke Čikole s naznačenim položajima tri vodomjerne postaje. Uočljivo je da otvoreni vodotok do Drniša, tj. prvih 19,3 km (49,5%) ima karakter nizinske rijeke. Neposredno nizvodno od vodomjerne postaje Drniš formiran je kanjonski dio toka, po kojemu ovaj fascinantni krški vodotok i nosi današnje ime. Naime, riječ čikola (odnosno čikojla) turskog je porijekla, a odnosi se na „vodu koja protječe kroz litice“. Kanjon rijeke Čikole dug je 13,5 km (34,6%), a mjestimično je dubok do 170 m. Nakon kanjona rijeka Čikola se „umiruje“ u estuariju posljednjih 6,2 km (15,9%). U rijeku Krku Čikola se ulijeva uzvodno od Skradinskog buka. Cijeli kanjon Čikole nastao je „nedavno“ u geološkom smislu (Fritz, 1991.), a u nizvodnom dijelu kanjona, kada su razine mora bile znatno niže od današnje, postojao je pravi krški izvor Torak. Intenzivnim taloženjem u zadnjih nekoliko tisućljeća (od kada je porasla razina mora na današnju) donji dio kanjona je zapunjavani sitnozrnatim materijalom (današnji estuarij), a Torak je dobio oblik oka ili jezera, promjera oko 150–200 m i nedovoljno istražene dubine (navodi se 30–50 m).



Slika 5: Uzdužni profil kroz korito rijeke Čikole s naznačenim položajima tri vodomjerne postaje

U nastavku ovog poglavlja analizirat će se hidrološko ponašanje duž toka korištenjem podataka mjerenja na tri postaje. Analize će biti vršene korištenjem dvije vremenske skale: (1) srednjih i prosječnih godišnjih protoka; (2) srednjih i prosječnih dnevnih protoka. Prosječni protok je izračunat kao aritmetička sredina srednjih protoka u određenom vremenskom razdoblju.

Na slici 6 ucrtani su nizovi srednjih godišnjih protoka izmjereni na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole: (1) Ružić (1947.–2016. – nedostaju 1981. i 1991.–2002.); (2) Drniš (1979.–2016. – nedostaju 1991.–1997.); (3) Ključice (1987.–2016. nedostaju 1992.–1994. i 2008.). Na istoj su slici unesene i linije linearnih trendova kao i koeficijenti linearne korelacije. Pouzdane zaključke o eventualnom postojanju trendova nemoguće je donijeti uslijed postojanja prekida u radu, kao i zbog kratkoće nizova opažanja na postajama Drniš i Ključice.



Slika 6: Nizovi srednjih godišnjih protoka izmjereni na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole: (1) Ružić (1947.–2016. – nedostaju 1981. i 1991.–2002.); (2) Drniš (1979.–2016. – nedostaju 1991.–1997.); (3) Ključice (1987.–2016. nedostaju 1992.–1994. i 2008.)

Tablica 2 predstavlja matrica koeficijenata linearne korelacije između srednjih godišnjih protoka opaženih na tri vodomjerne postaje duž toka rijeke Čikole za razdoblja kada su u sva tri para postojali mjereni podatci. Za par postaja Ružić–Drniš proračunata vrijednost se odnosi na razdoblje od 25 godina (1979.–1980.; 1982.–1990.; 2003.–2016.). Za par postaja Drniš–Ključice proračunata vrijednost se odnosi na razdoblje od 22 godine (1987.–1990.; 1998.–2007.; 2009.–2016.). Za par postaja Ružić–Ključice proračunata vrijednost se odnosi na razdoblje od 17 godina (1987.–1990.; 2003.–2007.; 2009.–2016.). U sva tri slučaja vrijednosti koeficijenata linearne korelacije izrazito su visoki te se kreću oko vrijednosti od, $r=0,98$, što je jasan dokaz sličnosti hidrološkog režima opaženog na sve tri postaje.

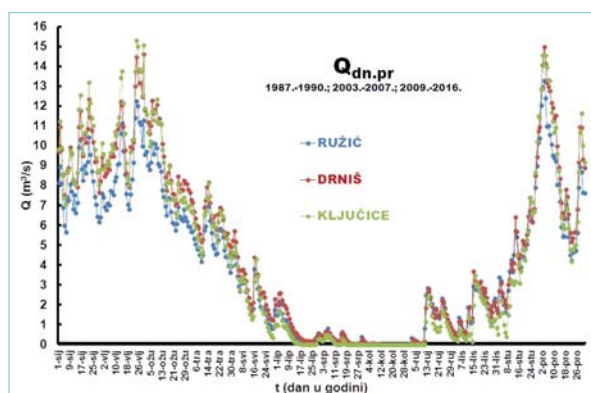
Tablica 2: Matrica koeficijenata linearne korelacije između srednjih godišnjih protoka opaženih na tri vodomjerne postaje duž toka rijeke Čikole

r	RUŽIĆ	DRNIŠ	KLJUČICE
RUŽIĆ	1	0,977	0,984
DRNIŠ		1	0,976
KLJUČICE			1

Jedan od osnovnih hidroloških principa je da se s povećanjem površine sliva povećava i srednji godišnji

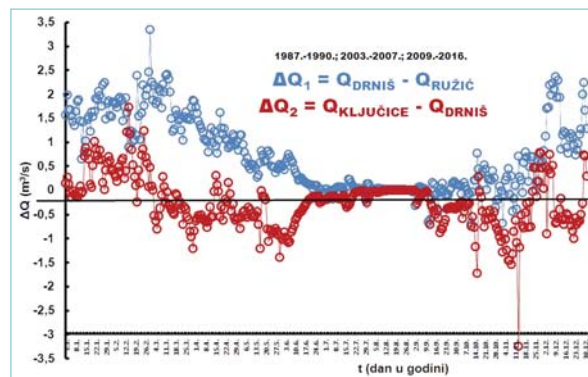
protok. U slučaju Čikole, ali i brojnih drugih vodotoka u kršu koji imaju riječne dionice na kojima voda povremeno ponire s površine u podzemlje, taj je princip narušen. U razdoblju od 17 godina (1987.-1990.; 2003.-2007.; 2009.-2016.) kad su sve tri postaje radile istovremeno, prosječni godišnji protoci su se kretali kako slijedi: (1) $Q_{RUŽIĆ} = 4,05 \text{ m}^3/\text{s}$; (2) $Q_{DRNIŠ} = 4,78 \text{ m}^3/\text{s}$; (3) $Q_{KLJUČICE} = 4,53 \text{ m}^3/\text{s}$. Može se zaključiti da na dijelu korita Čikole od postaje Drniš do Ključice postoje gubitci vode. Odmah po ulasku rijeke u kanjon kod Drniša zabilježene su ponorne zone u dužini od oko 2,7 km (slika 5). Trasiranjem tih zona dokazana je podzemna veza s Torkom, no vjerojatno se izviranje u vrijeme viših voda pojavljuje i u hipsometrijski nižim dijelovima kanjona. Nakon postaje Drniš može se ujedno pretpostaviti kako nema bitnog povećanja površine sliva same rijeke, jer su podzemne vode duboko, te se rijeci ovdje vraća tek dio voda koje poniru u najuzvodnijem dijelu kanjona (uz manje doprinose iz neposredne okolice kanjona u razdoblju visokih razina podzemnih voda), a podzemni krški sliv sjevernodalmatinske zaravni u ovom dijelu terena većinski pripada izvoru Torak.

Za tu su vrstu analize korišteni podaci srednjih dnevnih protoka opaženi na tri vodomjerne postaje tijekom prethodno spomenutog razdoblja od 17 godina. Na slici 7 prikazani su vremenski nizovi prosječnih dnevnih protoka određeni na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole tijekom godine za razdoblje od 17 godina kada su sve tri vodomjerne postaje bile aktivne (1987.-1990.; 2003.-2007.; 2009.-2016.). Iz ovog se prikaza može uočiti velika sličnost hidroloških režima na sve tri postaje. Slika 8, na kojoj su prikazana dva vremenska niza razlika prosječnih dnevnih protoka tijekom godine između dva para uzastopnih vodomjernih postaja ($\Delta Q_1 = Q_{DRNIŠ} - Q_{RUŽIĆ}$; $\Delta Q_2 = Q_{KLJUČICE} - Q_{DRNIŠ}$) za razdoblje od 17 godina, jasno ukazuje na režim pojave gubitaka duž toka Čikole. Može se zaključiti da tijekom hladnog i vlažnog razdoblja (od kraja prosinca do sredine ožujka) protoci na dionici Drniš-Ključice rastu, dok se u ostalom dijelu godine javljaju gubitci vode. Na dionici Ružić-Drniš čini se da gubitaka nema ili se oni javljaju vrlo rijetko i povremeno u razdoblju od rujna do studenog i to



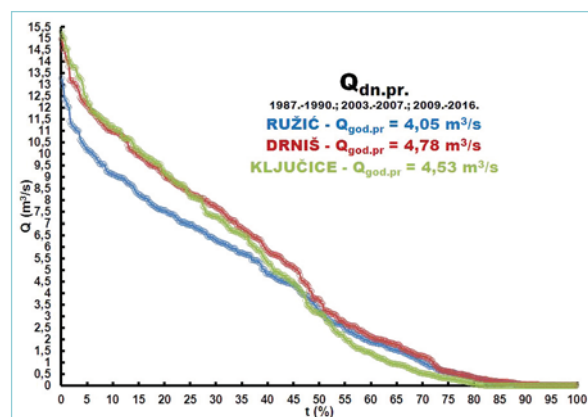
Slika 7: Vremenski nizovi prosječnih dnevnih protoka za tri vodomjerne postaje duž toka Čikole tijekom godine za razdoblje od 17 godina kada su sve tri vodomjerne postaje bile aktivne (1987.-1990.; 2003.-2007.; 2009.-2016.)

samo u slučaju ako se na slivu ne pojave obilne jesenske oborine. Treba napomenuti da je svake pojedine godine hidrološki režim duž toka specifičan te da se prikazi dani na slikama 7 i 8 odnose na prosječne višegodišnje (17 godina) vrijednosti.



Slika 8: Dva vremenska niza razlika prosječnih dnevnih protoka tijekom godine između dva para uzastopnih vodomjernih postaja ($\Delta Q_1 = Q_{DRNIŠ} - Q_{RUŽIĆ}$; $\Delta Q_2 = Q_{KLJUČICE} - Q_{DRNIŠ}$) za razdoblje od 17 godina kada su sve tri vodomjerne postaje bile aktivne (1987.-1990.; 2003.-2007.; 2009.-2016.)

Slika 9 prikazuje tri srednje krivulje trajanja, izražene u postotku vremena, prosječnih dnevnih protoka za tri vodomjerne postaje duž toka Čikole za razdoblje od 17 godina, kada su sve tri vodomjerne postaje bile aktivne. Iz nje se može uočiti da kad prosječni višegodišnji dnevni protok na Ključicama prijeđe vrijednost od $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ protoci na uzvodnoj postaji Drniš postanu nešto manji, što bi se moglo objasniti time da tada nema gubitaka na dionici Drniš-Ključice ili da se doprinosom podzemnih voda u nižem dijelu kanjona anuliraju gubitci iz ponorne zone u početnom dijelu kanjona, a kad padne ispod te vrijednosti pojave se gubitci na dionici Drniš-Ključice. Kad prosječni višegodišnji dnevni protok na Ključicama padne ispod vrijednost od $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$ gubitci se povećavaju toliko da čak i protoci na postaji

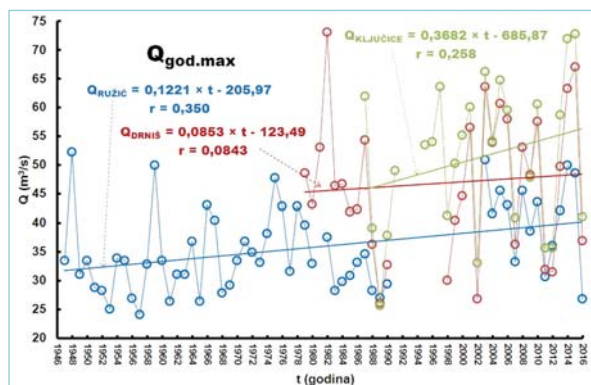


Slika 9: Tri krivulje trajanja, izražene u postotku vremena, prosječnih dnevnih protoka za tri vodomjerne postaje duž toka Čikole za razdoblje od 17 godina kada su sve tri vodomjerne postaje bile aktivne (1987.-1990.; 2003.-2007.; 2009.-2016.)

Ružić postaju veći od protoka na postaji Ključice. To je najlogičnije objasniti činjenicom da je ponorna zona (slika 5) ograničenog kapaciteta pa su njeni učinci u vrijeme viših protoka manje uočljivi u ukupnoj bilanci, dok u vrijeme niskih protoka dominiraju, a vode koje poniru u tom dijelu korita se u vrijeme malih voda ne vraćaju u samu rijeku prije postaje Ključice, nego tek u zoni samog izvora Torak.

4. ANALIZA MAKSIMALNIH PROTOKA DUŽ TOKA

Na slici 10 ucrtani su nizovi maksimalnih godišnjih protoka izmjereni na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole: (1) Ružić (1947.–2016. – nedostaju 1981. i 1991.–2002.); (2) Drniš (1979.–2016. – nedostaju 1991.–1997.); (3) Ključice (1987.–2016. – nedostaju 1992.–1994. i 2008.). Iako se zbog prekida u mjerenjima kao i kratkoće nizova opaženih na postajama Drniš i Ključice ne mogu donijeti pouzdani zaključci, mora se primijetiti da na sve tri postaje postoje trendovi porasta maksimalnih godišnjih protoka.



Slika 10: Nizovi maksimalnih godišnjih protoka izmjereni na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole: (1) Ružić (1947.–2016. – nedostaju 1981. i 1991.–2002.); (2) Drniš (1979.–2016. – nedostaju 1991.–1997.); (3) Ključice (1987.–2016. – nedostaju 1992.–1994. i 2008.).

U tablici 3 navedena je matrica koeficijenata linearne korelacije između maksimalnih godišnjih protoka opaženih na tri vodomjerne postaje duž toka rijeke Čikole za razdoblja kada su u sva tri para postojali mjereni podatci. Za par postaja Ružić–Drniš proračunata vrijednost se odnosi na razdoblje od 25 godina (1979.–1980.; 1982.–1990.; 2003.–2016.). Za par postaja Drniš–Ključice proračunata vrijednost se odnosi na razdoblje od 22 godine (1987.–1990.; 1998.–2007.; 2009.–2016.). Za par postaja Ružić–Ključice proračunata vrijednost se odnosi na razdoblje od 17 godina (1987.–1990.; 2003.–2007.; 2009.–2016.). U sva tri slučaja vrijednosti koeficijenata linearne korelacije su visoki te se kreću u rasponu vrijednosti od, $r=0,78$, do, $r=0,97$, što je jasan dokaz sličnosti hidrološkog režima maksimalnih godišnjih protoka opaženih na sve tri postaje.

Tablica 3: Matrica koeficijenata linearne korelacije između maksimalnih godišnjih protoka opaženih na tri vodomjerne postaje duž toka rijeke Čikole

r	RUŽIĆ	DRNIŠ	KLJUČICE
RUŽIĆ	1	0,784	0,895
DRNIŠ		1	0,968
KLJUČICE			1

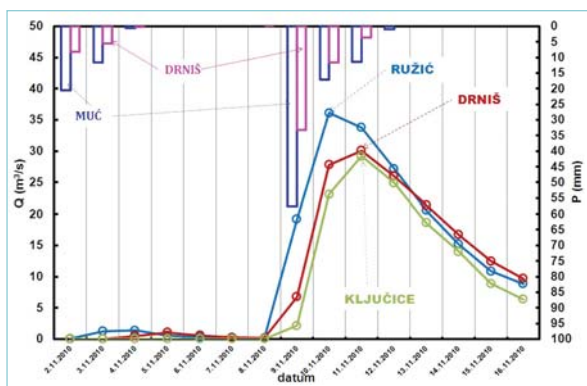
Najveći maksimalni protok definiran na osnovi maksimalnog vodostaja i protočne krivulje, preuzet iz banke hidroloških podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, na sve tri postaje ne prelazi vrijednost od $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Od osobitog interesa bi bilo poznavati maksimalnu vrijednost protoke koja istječe iz samog izvora. Kako se s takvim mjerenjima ne raspolaže, za određene zaključke može poslužiti analiza maksimalnih godišnjih protoka mjerenih na postaji Ružić koja je najbliža samom izvoru. Na njoj je u čak 56 godina za koje se raspolaže s mjerenim podatcima maksimalni izmjereni protok 1948. godine iznosio $52,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri tome treba uzeti u obzir da su u formiranju tog protoka sudjelovali svi pritoci na potezu od 6,6 km između izvora i postaje Ružić (Vrba te izvori Velika i Mala Kanjevača), što znači da je istjecanje iz samog izvora Čikole bilo značajno manje. Na osnovi te činjenice može se zaključiti da izvor Čikole predstavlja tipični krški izvor s ograničenim kapacitetom maksimalnog istjecanja (Bonacci, 2001.). Na smanjivanje maksimalnog izlaznog protoka iz izvora Čikole vrlo vjerojatno utječu: (1) ograničene dimenzije glavnog krškog provodnika; (2) pojava brojnih kratkotrajno aktivnih izvora u okolini glavnog izvora, a i istjecanje iz povremenih izvora Velike i Male Kanjevače koji dijele slivno područje s izvorom Čikole i pojavljuju se kao „satelitski“ izvori glavnom izvoru pri visokim razinama podzemnih voda u krškom masivu Svilaje, zbog ograničenog kapaciteta same izvorišne zone u Mirlović polju.

U razdoblju od 17 godina (1987.–1990.; 2003.–2007.; 2009.–2016.) kad su sve tri postaje radile istovremeno prosječni maksimalni godišnji protoci su se kretali kako slijedi: (1) $Q_{\text{RUŽIĆ}} = 38,2 \text{ m}^3/\text{s}$; (2) $Q_{\text{DRNIŠ}} = 47,5 \text{ m}^3/\text{s}$; (3) $Q_{\text{KLJUČICE}} = 51,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Na osnovi ovih podataka može se zaključiti da se tijekom pojave velikih voda gubitci na određenim dionicama vodotoka ne javljaju ili su neznatni u odnosu na veličinu površinskog otjecanja. Taj zaključak potvrđuju i podatci navedeni u tablici 4 u kojoj su navedeni rezultati t-testova za nizove srednjih i maksimalnih godišnjih protoka za parove vodomjernih postaja duž toka rijeke Čikole u razdoblju njihovog istovremenog rada. Uočava se da kod nizova srednjih godišnjih protoka nema statistički značajne razlike, dok ona postoji kod nizova maksimalnih godišnjih protoka za sljedeća dva para postaja: (1) Ružić–Drniš; (2) Ružić–Ključice. Između postaja Drniš i Ključice t-test ne pokazuje statistički značajnu razliku, što je vjerojatno rezultat činjenice da između tih postaja nema većih pritoka te da se velike vode razlijevaju u depresiji Petrovog polja.

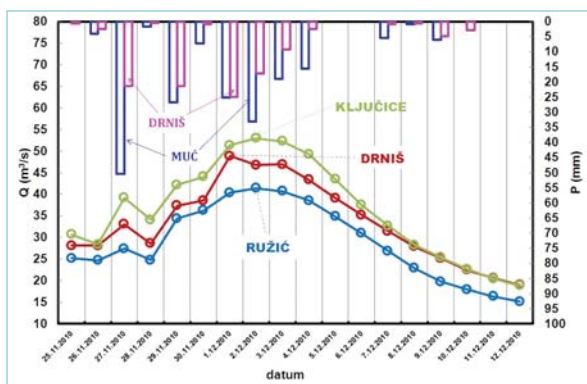
Tablica 4: Rezultati t-testa za nizove srednjih i maksimalnih godišnjih protoka za parove vodomjernih postaja duž toka rijeke Čikole

Parovi postaja	Srednji godišnji protoci	Maksimalni godišnji protoci
RUŽIĆ-DRNIŠ	$p=0,328$	$p < 0,01$
RUŽIĆ-KLJUČICE	$p=0,589$	$p < 0,01$
DRNIŠ-KLJUČICE	$p=0,738$	$p = 0,200$

O različitosti ponašanja hidrološkog režima velikih voda duž toka Čikole svjedoče grafički prikazi ucrtani na slikama 11 i 12. Na slici 11 ucrtani su hidrogrami velike vode opaženi na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole i dnevne oborine izmjerene na meteorološkoj postaji Drniš i kišomjeru Muć u razdoblju od 2. do 16. studenog 2010. Na slici 12 ucrtani su hidrogrami velike vode opaženi na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole i dnevne oborine izmjerene na meteorološkoj postaji Drniš i kišomjeru Muć u razdoblju od 25. studenog do 12. prosinca 2010. U prvom slučaju maksimalni protok javlja se na postaji Ružić dan ranije nego na nizvodnim postajama Drniš i Ključice i on je veći nego na nizvodnim postajama. Protoci u sva tri analizirana hidrograma smanjuju se kako se ide nizvodno. U slučaju prikazanom na slici 12, a



Slika 11: Hidrogrami velike vode opaženi na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole i dnevne oborine izmjerene na meteorološkoj postaji Drniš i kišomjeru Muć u razdoblju od 2. do 16. studenog 2010.

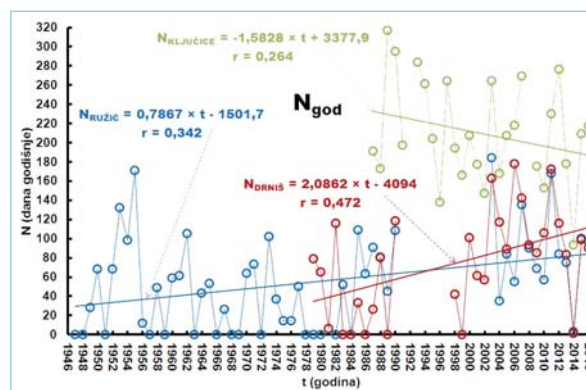


Slika 12: Hidrogrami velike vode opaženi na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole i dnevne oborine izmjerene na meteorološkoj postaji Drniš i kišomjeru Muć u razdoblju od 25. studenog do 12. prosinca 2010.

radi se o hidrogramima velike vode koja se pojavila samo deset dana poslije prvog analiziranog slučaja, protoci analiziranih hidrograma velike vode rastu nizvodno duž toka Čikole. Razlog ovako različitim, hidrološki gledano, ponašanjima dva analizirana skupa hidrograma velike vode je u tome što se prva velika voda pojavila poslije dugotrajnog sušnog razdoblja kada je krški vodonosnik bio ispražnjen, a razina podzemne vode niska, dok su u drugom analiziranom slučaju hidrogrami velike vode formirani u situaciju punog vodonosnika i visokih razina podzemne vode.

5. PRESUŠIVANJE ČIKOLE DUŽ TOKA

Što se analiza malih voda tiče treba imati na umu da izvor Čikole, a zatim i cijeli vodotok, vrlo često presušuju. Na slici 13 ucrtani su nizovi broja dana presušivanja godišnje, N , opaženi na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole: (1) Ružić (1947.-2016. - nedostaju 1981. i 1991.-2002.); (2) Drniš (1979-2016. - nedostaju 1991.-1997.); (3) Ključice (1987.-2016. - nedostaju 1992.-1994. i 2008.).



Slika 13: Nizovi broja dana presušivanja godišnje opaženi na tri vodomjerne postaje duž toka Čikole: (1) Ružić (1947.-2016. - nedostaju 1981. i 1991.-2002.); (2) Drniš (1979-2016. - nedostaju 1991.-1997.); (3) Ključice (1987.-2016. - nedostaju 1992.-1994. i 2008.).

Dok na postaji Ružić rijeka Čikola 15 godina nije presušila, a na postaji Drniš to se dogodilo u 5 godina, na postaji Ključice ona je presušila u svakoj od raspoloživih godina u kojima su vršena opažanja. Treba napomenuti da u razdoblju od 2003. do 2016. na postaji Ružić nije bilo niti jedne godine bez presušivanja. Čini se da su presušivanja u posljednjih dvadesetak godina češća, a jedan od razloga mogle bi biti klimatske promjene, dok je crpljenje vode iz izvora za potrebe vodoopskrbe neznatno te nije za očekivati da je ono utjecalo na proces presušivanja.

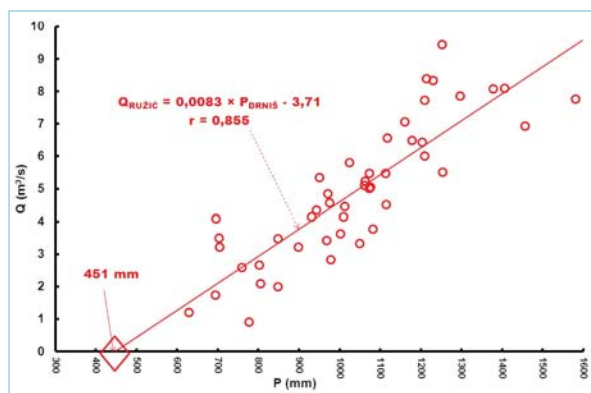
Raspon broja dana presušivanja godišnje na postaji Ružić kreće se između $N_{\min}=0$ i $N_{\max}=184$, uz prosječnu vrijednost od $N_{pr}=54,6$ dana. Raspon broja dana presušivanja godišnje na postaji Drniš kreće se između $N_{\min}=0$ i $N_{\max}=178$, uz prosječnu vrijednost od $N_{pr}=74,8$

dana. Raspon broja dana presušivanja godišnje na postaji Ključice kreće se između $N_{\min} = 93$ i $N_{\max} = 317$, uz prosječnu vrijednost od $N_{pr} = 209,7$ dana. Navedeni podatci dodatna su potvrda prethodno navedenom zaključku da na dionici Čikole od Drniša do Ključica postoje značajni gubici vode u krško podzemlje. Zanimljivo bi i izrazito značajno bilo ustanoviti gdje se i u kolikim iznosima vraćaju ove vode na površinu.

6. POVRŠINA SLIVA VODOMJERNE POSTAJE RUŽIĆ

Od ključnog značenja bilo bi pouzdanije definirati granice i površinu sliva, prije svega izvora Čikole, a potom i dijelova sliva do svakog pojedinog vodomjernog profila i ušća u Krku. Taj zadatak može biti ispunjen tek primjenom detaljnih, prije svega, geoloških i hidrogeoloških analiza zasnovanih na brojnim i skupim mjerenjima. Kako ovaj rad isključivo tretira hidrološku problematiku, u njemu će se primijeniti hidrološki postupak za procjenu površine sliva. Na osnovi raspoloživih podataka to će biti moguće napraviti isključivo za sliv Čikole do vodomjerne postaje Ružić. Žugaj (1995.) navodi da površina sliva Čikole do profila Drniš iznosi 337 km².

Primijenit će se metoda Turca (1954.) koja je korištena za procjenu površine sliva duž toka Zrmanje (Bonacci, 1999.), Krke (Bonacci i Ljubenkov, 2005.) i Dobre (Bonacci i Andrić, 2010.a; 2010.b). Kao prvi preduvjet ovoj analizi na slici 14 prikazan je odnos između srednjih godišnjih protoka izmjerenih na vodomjernoj postaji Ružić u funkciji oborina izmjerenih na meteorološkoj postaji Drniš u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1981. i 1991.-2002.). Iz ovog se prikaza može zaključiti da je odnos uzroka (oborina) i njihove posljedice (protoka) čvrst i hidrološki prihvatljiv, jer koeficijent linearne korelacije ima visoku vrijednost, $r = 0,855$. Uz to i presjek pravca regresije s osi apscise iznosi, $P_0 = 451$ mm, što znači da kad bi godišnje oborine bile niže od te vrijednosti ne bi bilo tečenja na analiziranom profilu Čikole.



Slika 14: Odnos između srednjih godišnjih protoka izmjerenih na vodomjernoj postaji Ružić u funkciji oborina izmjerenih na meteorološkoj postaji Drniš u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1981. i 1991.-2002.)

Jednadžba Turca za definiranje godišnjeg deficita otjecanja izraženog u mm glasi:

$$D = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{-0,5}} \quad (1)$$

$$L = 300 + (25 \times T) + (0,05 \times T^3) \quad (2)$$

kod čega P predstavlja godišnju oborinu palu na sliv izraženu u (mm), T označava srednju godišnju temperaturu zraka izraženu u (°C). Godišnji protok izražen u mm izračunava se po metodi Turca, Q_T , sljedećim izrazom:

$$Q_T = P - D \quad (3)$$

Godišnji koeficijent otjecanja definiran metodom Turca, c_T , proračunava se sljedećim izrazom:

$$c_T = \frac{Q_T}{P} \quad (4)$$

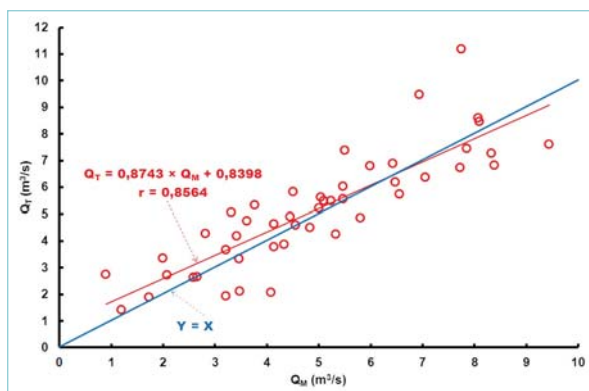
Površina sliva izražena u m², definirana metodom Turca, A_T , izračunava se sljedećim izrazom:

$$A_T = \frac{(Q_T \times t)}{(P \times c_T)} \quad (5)$$

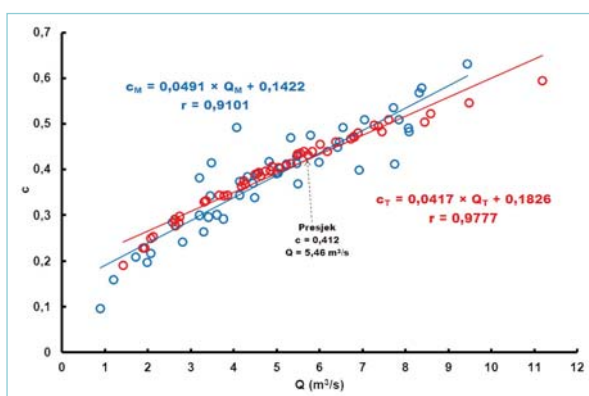
pri čemu, Q , predstavlja srednji godišnji protok izražen u m³/s, t, broj sekundi u godini, P godišnju oborinu izraženu u m.

Na slici 15 ucrtan je odnos između srednjih godišnjih protoka izračunatih metodom Turca, Q_T , i izmjerenih srednjih godišnjih protoka, Q_M , na vodomjernoj postaji Ružić u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1981. i 1991.-2002.). Visoka vrijednost koeficijenta linearne korelacije, $r = 0,856$, kao i činjenica da pravac regresije gotovo leži na osi simetrale ($Y=X$) ukazuje da metoda Turca dobro slijedi hidrološke procese vezane s analiziranom postajom Ružić. Ovaj zaključak potvrđuje i prikaz dan na slici 16 na kojem je ucrtan odnos između godišnjih koeficijenata otjecanja, c_T , i srednjih godišnjih protoka, Q_T , izračunatih metodom Turca (crvena boja) i odnos između godišnjih koeficijenata otjecanja, c_M , i srednjih godišnjih protoka, Q_M , dobivenih mjerenjima na vodomjernoj postaji Ružić u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1981. i 1991.-2002.).

Prosječna površina sliva rijeke Čikole do postaje Ružić izračunata prethodno opisanim postupkom iznosi, $A_T = 377$ km². Međutim, potrebno je naglasiti da bi ova vrijednost važila isključivo u slučaju kad bi oborine i temperature zraka izmjerene na meteorološkoj postaji Drniš bile odgovarajuće za cijeli sliv Čikole do profila Ružić. Kako to vrlo vjerojatno nije točno, jer se postaja Drniš nalazi na nižoj nadmorskoj visini od srednje nadmorske visine



Slika 15: Odnos između srednjih godišnjih protoka izračunatih metodom Turca, Q_T , i izmjerenih srednjih godišnjih protoka, Q_M , na vodomjernoj postaji Ružić u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1981. i 1991.-2002.)



Slika 16: Odnos između godišnjih koeficijenata otjecanja, c_T , i srednjih godišnjih protoka, Q_T , izračunatih metodom Turca (crvena boja) i odnos između godišnjih koeficijenata otjecanja, c_M , i srednjih godišnjih protoka, Q_M , dobivenih mjerenjima na vodomjernoj postaji Ružić u razdoblju 1957.-2016. (nedostaju 1981. i 1991.-2002.)

sliva Čikole do profila Ružić u tablici 5 su izračunate vrijednosti površine sliva u slučaju ako je oborina veća za 5%, 10% i 15% te srednja temperatura sliva niža za 1°C, 1,5°C i 2°C. U svim tim slučajevima površina sliva je nešto niža. Gruba je pretpostavka da se ona kreće oko 300 km², međutim, ta se vrijednost tek treba potvrditi detaljnim monitoringom i interdisciplinarnim hidrogeološkim, geološkim i hidrološkim istraživanjima i analizama. Važno je naglasiti kako do postaje Ružić u Čikolu uviru Vrba te vode iz izvora Mala i Velika Kanjevača. Kako obje Kanjevače najvjerojatnije dijele krški sliv masiva Svilaje s glavnim izvorom Čikole, tako bi se preciznijim odvajanjem sliva Vrbe mogla kvalitetnije izraziti i slivna

površina izvora Čikole, a za njenu odredbu važna je suradnja hidrologije i hidrogeologije. Prema postojećim hidrogeološkim razmatranjima površina neposrednog sliva izvora Čikole iznosi oko 200 km², a u užem smislu (štićeno područje) oko 125 km² (Kapelj i Kapelj, 2009.).

7. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNI RAD

Analize izvršene u ovom radu isključivo su hidrološke prirode te je zaključke donesene na osnovi njih neophodno potvrditi i nadopuniti hidrogeološkim, geološkim i ostalim vrstama znanstvenih metodoloških pristupa koji su ovdje tek u manjoj mjeri referirani. Međutim, treba naglasiti da se radi o prvoj sustavnoj analizi ovog vrlo vrijednog krškog vodotoka. Zbog toga ovaj rad treba biti shvaćen kao poticaj ostalim istraživačima da daju svoj doprinos u rasvjetljavanju fenomena „zaboravljene krške ljepotice“ rijeke Čikole.

Krška rijeka Čikola, dužine 39 km, spada u otvorene vodotoke koji presušuju na izvoru i duž toka, a istovremeno gube vodu na nekim dionicama duž toka. Poniranje je moguće zabilježiti samo tijekom sušnog razdoblja kad su razine podzemne vode niže od dna korita vodotoka. U nekim godinama vodotok ne presuši na dva uzvodna profila (Ružić i Drniš), dok u nekim godinama presušivanje može trajati i duže od 100 dana. Na najnižvodnijoj postaji Ključice voda u koritu presušila je svake godine za koju postoje mjerenja, a presušivanja su trajala između 93 i 317 dana. Hidrološkim analizama utvrđeno je da se gubitci vode javljaju na dionici između vodomjernih postaja Drniš i Ključice. Točne lokacije gubitaka treba odrediti hidrogeološkim analizama, no izdvojene su određene zone u najvišem dijelu kanjona neposredno iza Drniša (Fritz et al., 1993.). Čini se da je u posljednjih dvadesetak godina na uzvodnim profilima Ružić i Drniš došlo do povećanja broja dana presušivanja. To treba pouzdano utvrditi i ako je točno ustanoviti razloge ove pojave koja može biti opasna kako s ekološkog tako i s ekonomskog stanovišta.

Izvor Čikole povremeni je krški izvor čija je slivna površina izgrađena od karbonatnih stijena među kojima prevladavaju vapnenci kredne starosti. Ulaz u izvorsku spilju nalazi se na koti 279 m nm. Konstatirano je da sam izvor Čikole pripada u skupinu brojnih krških izvora s ograničenim maksimalnim kapacitetom istjecanja. Primjenom metode Turca proračunato je da površina

Tablica 5: Površine sliva, A_T , do postaje Ružić izračunate metodom Turca

A_T (km ²)	$P_{DRNIŠ}$	$1,05 \times P_{DRNIŠ}$	$1,10 \times P_{DRNIŠ}$	$1,20 \times P_{DRNIŠ}$
$T_{DRNIŠ}$	377	342	313	289
$T_{DRNIŠ} - 1,0^\circ\text{C}$	353	322	295	272
$T_{DRNIŠ} - 1,5^\circ\text{C}$	342	312	287	265
$T_{DRNIŠ} - 2,0^\circ\text{C}$	332	303	280	258

sliva rijeke Čikole do vodomjerne postaje Ružić vjerojatno iznosi oko 300 km².

Pošto se iz izvora Čikole kvalitetnom pitkom vodom snabdijeva grad Drniš i nekoliko okolnih naselja, ova bi hidrološka obrada trebala poslužiti za planiranje daljnjih interdisciplinarnih (hidrološko-hidrogeološko-ekoloških) istražnih radova koji bi trebali dati pouzdanije odgovore na pitanje o mogućnosti crpljenja dodatnih količina vode iz krškog vodonosnika koji prihranjuje ovaj izvor, ali i na moguće utjecaje na ekološki sustav vodotoka i sliva.

Ovaj rad treba shvatiti kao prvi u nizu studija ponašanja krškog fenomena izvora i rijeke Čikole. U njemu su dati odgovori na niz dilema, ali su otvorena i brojna pitanja na koje odgovore mogu dati interdisciplinarna istraživanja zasnovana na cjelovitom i detaljnom monitoringu klimatoloških, hidrogeoloških, geoloških, hidroloških i drugih parametara. Činjenica je da istražne radove ne samo da treba nastaviti, već i značajno intenzivirati kako bi se osigurali uvjeti za održivo korištenje vrijednih površinskih i podzemnih vodnih resursa ove prekrasne krške rijeke. ■

LITERATURA

- Andabaka, D.; Senta Marić, A.; Gudelj, I. (2012.): Rijeka Čikola. *Zbornik sažetaka 12. Stručnog sastanka laboratorija ovlaštenih za ispitivanje voda*. Petrcane 13.-16. XI 2012., 101.
- Bonacci, O. (1999.): Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrological Sciences Journal*, 44(3):373-386.
- Bonacci, O. (2001.): Analysis of the maximum discharge of karst springs. *Hydrogeology Journal*, 9(4):328-338.
- Bonacci, O. (2010.): Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj, *Građevinar*, 62(9):781-791.
- Bonacci, O. (2016.): River - the bloodstream of landscape and catchment. *Acta Hydrotechnica*, 29(50):1-12.
- 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 an inter-basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: an example from the Dinaric karst (Croatia). *Hydrological Processes*, 24(26):3852-3863.
- Bonacci, O.; Ljubenkov, I. (2005.): Nove spoznaje o hidrologiji rijeke Krke. *Hrvatske vode*, 13(52):265-281.
- Bonacci, O.; Željko, I.; Galić, A. (2013.): Karst rivers' particularity: an example from Dinaric karst (Croatia/Bosnia and Herzegovina). *Environmental Earth Sciences*, 70(2):963-974.
- Boon, P.J.; Davies, B.R.; Petts, G.E. (2000.): *Global perspectives on river conservation: science, policy and practice*. Wiley, Chichester.
- Datry, T.; Bonada, N.; Boulton, A. (2017.): *Intermittent rivers and ephemeral streams - Ecology and management*. Elsevier & Academic Press, London.
- Fritz, F. (1991.): Utjecaj recentnog okršavanja na zahvaćanje voda. *Geološki vjesnik*, 44:281-288.
- Fritz, F.; Renić, A.; Pavičić, A. (1993.): Hydrogeology of the hinterland of Šibenik and Trogir, Croatia. *Geogica Croatica*, 46/2:291-306.
- Kapelj, S.; Kapelj, J. (2009.): *Hidrogeološki istražni radovi za izradu prijedloga zona sanitarne zaštite izvora Čikole*. Geotehnički fakultet, Varaždin. Arhiv Hrvatskih voda. (neobjavljeni elaborat).
- Stepinac, A. (1972.): *Srednje mjesečne i srednje godišnje protoke Čikole, Krke i Zrmanje u razdoblju 1951./52. - 1970./71.* Elektroprojekt, Zagreb (neobjavljeni elaborat).
- Šarin, A. (1983.): *Tehnički izvještaj o pokusnom crpljenju izvora Čikole u 1983. godini*. Arhiv HGI 51/84. (neobjavljeni elaborat).
- Terzić, J.; Frangen, T. (2010.): *Dugotrajno crpljenje na crpilištu izvora Čikole*. Hrvatski geološki institut, Zagreb (neobjavljeni elaborat).
- Turc, L. (1954.): Le bilan d'eau des sols. *Troisième Journée d'Hydraulique, Alger*.343-356.
- Žugaj, R. (1995.): *Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske*. Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb.
- Žugaj, R.; Srebrenović, Z. (1987.): *Višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Krke- Knjiga H 1/1*. Elektroprojekt, Zagreb (neobjavljeni elaborat).

Hydrological analysis of the karstic Čikola River

Abstract. The paper describes a hydrological analysis of the processes occurring along the course of the Čikola River based on discharge measurements at three water gauging stations (Ružić, Drniš and Ključice), precipitation measurements at four stations (Knin, Drniš, Otavice and Muć) as well as air temperatures measurements at the meteorological station Drniš. The paper presents new considerations regarding the hydrology of the karst river Čikola. It has been established that the river section between the stations Drniš and Ključice shows significant water losses in the dry period. It appears that the losses due to water sinking into the karstic underground are absent or rare and insignificant in the area between the stations Ružić and Drniš. It has been further established that water drying out in the Čikola section from Ružić to Drniš is slightly more frequent in the past fifteen years; however, this finding should be verified by more reliable measurements. It has been determined that the Čikola source is a karstic spring with a limited maximal output capacity. By implementing the Turc method, it has been estimated that the surface of the Čikola river basin to the station Ružić equals approximately 300 km².

Key words: karst hydrology, river basin surface, water losses, Čikola River (Croatia)

Hydrologische Analyse des Karstflusses Čikola

Zusammenfassung. Im Beitrag wird die hydrologische Analyse der sich entlang des Čikola-Flusslaufs abwickelnden Vorgänge dargestellt und zwar anhand der Werte: Durchfluss, Niederschlag und Lufttemperatur. Durchfluss wurde an drei Pegelstationen (Ružić, Drniš und Ključice) gewonnen, Niederschlag an vier Stationen (Knin, Drniš, Otavice und Muć) gemessen, und Lufttemperatur wurde an der meteorologischen Station Drniš gemessen. Dieser Artikel präsentiert eine neue Analyse der Hydrologie des Karstflusses Čikola. Im Flussabschnitt zwischen den Stationen Drniš und Ključice wurden erhebliche Wasserverluste in der Trockenzeit festgestellt. Zwischen den Stationen Ružić und Drniš scheint es Verluste wegen der Versickerung des Flusses im Untergrund nicht zu geben, oder sie sind nur selten und ohne Bedeutung. Es wurde festgestellt, dass der Fluss zwischen Ružić und Drniš öfter in den letzten fünfzehn Jahren austrocknete, allerdings sollen zuverlässige Messungen diese Situation bestätigen. Die Analyse zeigt auch, dass die Čikola-Quelle zu den Karstquellen mit beschränkter maximaler Kapazität gehört. Durch die Anwendung des Verfahrens nach Turc konnte eingeschätzt werden, dass die Fläche des Čikola-Einzugsgebietes bis zur Station Ružić etwa 300 Quadratkilometer beträgt.

Schlüsselwörter: Karsthydrologie, Einzugsgebietsfläche, Wasserverluste, Fluss Čikola (Kroatien)