

# PRILOG HIDROLOGIJI KRŠKOG IZVORA VRELO UNE

prof. emeritus Ognjen Bonacci  
Fakultet građevinarstva,  
arhitekture i geodezije  
Sveučilišta u Splitu  
Matice hrvatske 15, 21000 Split  
obonacci@gradst.hr

U članku su analizirani hidrološki podatci (protoci i temperatura vode) izmjereni na postaji Donja Suvaja. Radi se o hidrološkoj postaji koja se nalazi oko 500 m nizvodno od krškog izvora Vrelo Une te na taj način kontrolira njegov hidrološki režim. Na raspolaganju za vršenje analiza stajali su srednji dnevni protoci u razdoblju od 1. travnja 1972. do 30. rujna 1991. te od 3. travnja 1998. do 31. prosinca 2016. Dnevne temperature vode mjerene su u razdoblju od 1. siječnja 1976. do 30. rujna 1991., s prekidima u sljedeće četiri godine: 1979., 1980., 1983. i 1987. Ujedno se raspolagalo i s maksimalnim i minimalnim godišnjim vrijednostima protoka u razdoblju 1973.-1990. i 1999.-2016. Protok Vrela Une kreće se u rasponu od minimalno izmjerenih 0,076 m<sup>3</sup>/s do maksimalno izmjerenih 98,1 m<sup>3</sup>/s. Prosječna godišnja vrijednost protoka u raspoloživom razdoblju iznosi 7,21 m<sup>3</sup>/s, a srednji godišnje protoci kretali su se u rasponu od 3,32 m<sup>3</sup>/s do 11,1 m<sup>3</sup>/s. Utvrđene su promjene hidrološkog režima u drugom podrazdoblju (od 3. travnja 1998. do 31. prosinca 2016.) u odnosu na prvo podrazdoblje (od 1. travnja 1972. do 30. rujna 1991.). Ukazano je na mogućnost pojave trenda porasta temperatura vode izvora. Kako se radi o relativno kratkim vremenskim nizovima, ove konstatacije tek treba potvrditi daljnjim detaljnim mjerenjima i analizama. U zaključnom razmatranju dati su prijedlozi za uspostavu detaljnog klimatološkog i hidrološkog monitoringa koji bi omogućili bolje razumijevanje procesa koji se odvijaju na ovom izvoru.

**Ključne riječi:** krški izvor, godišnji, mjesečni i dnevni protoci, temperatura vode, Vrelo Une (Hrvatska)

## 1. UVOD

Dinarski krš Hrvatske obiluje značajnim brojem impozantnih krških izvora. O većini njih, kao npr. o izvoru Rječine, Jadra, Žrnovnice, Omble, izvorima Gacke itd. objavljeni su relativno brojni radovi, većinom na hrvatskom jeziku. Jedan izvor koji po svom značaju (ekološkom, estetskom, vodoprivrednom, krajobraznom itd.) spada u spomenutu grupu nacionalno, ali i šire gledano značajnih krških izvora nedovoljno je istraživan.

Radi se o jednom od izvora rijeke Une, tj. Vrelu Une. Na [slici 1](#) nalazi se fotografija Vrela Une autora Tihomira Kovačevića.

Vrelo Une je jedan od izvora rijeke Une. Nalazi se u ličkom dijelu Zadarske županije, kod mjesta Donja Suvaja, Vrelo Une je po izdašnosti glavno ishodište rijeke Une koja predstavlja granični i prekogranični vodotok koji protječe kroz Hrvatsku i Bosnu i Hercegovinu, a dijelom



Slika 1: Fotografija Vrela Une (snimio Tihomir Kovačević)

predstavlja granicu između te dvije države. Ukupna duljina ovog vodotoka iznosi 214 km, dok se u literaturi nailazi na različite vrijednosti površine sliva koje se kreću od 9.640 km<sup>2</sup> (Bognar, 2005.) do 10.816 km<sup>2</sup>. Rijeka Una se u blizini Jasenovca ulijeva u rijeku Savu.

U članku su analizirani podatci protoka i temperatura vode mjereni na hidrološkoj postaji Donja Suvaja, koja se nalazi oko 500 m nizvodno od samog Vrela Une, čime prati hidrološke procese ovog krškog izvora. Geografske koordinate ove postaje su: (1) širina 44° 24' 06" (Gauss-Krueger Y: 5588545); (2) dužina 16° 06' 36" (Gauss-Krueger X: 4918102). Kota nule vodokaza je H = 358,806 m nad morem (m n. m.). Postaja je uspostavljena 1. travnja 1972. Dana 2. rujna 1978. opremljena je automatskim registratorom vodostaja. Zbog ratnih zbivanja prekinula je s radom 1. listopada 1991., a nastavila je s radom 3. travnja 1998. Postaja je obnovljena na istoj lokaciji i s istom kotom nule. Dana 6. prosinca 2007. je postavljen elektronski limnigraf OTT-Thalimedes i uspostavljena je daljinska dojava.

Podatci koji će u ovom radu nastavno biti analizirani su preuzeti iz Banke hidroloških podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba. Na raspolaganju su stajali srednji dnevni protoci u razdoblju od 1. travnja 1972. do 30. rujna 1991. te od 3. travnja. 1998. do 31. prosinca 2016. Dnevne temperature vode mjerene su u razdoblju od 1. siječnja 1976. do 30. rujna 1991., s prekidima u sljedeće četiri godine: 1979., 1980., 1983. i 1987. Ujedno se raspolagalo i s maksimalnim i minimalnim godišnjim vrijednostima protoka u razdobljima 1973.–1990. i 1999.–2016.

Bitno svojstvo svakog izvora je količina vode koja iz njega izbija na površinu terena, tj. njena promjenjivost tijekom različitih vremenskih skala, od onih višegodišnjih do dnevnih pa i kraćih intervala. Preduvjet za poduzimanje bilo kakvih radnji ili izučavanja vezano s razmatranim vodnim fenomenom predstavlja upravo poznavanje njegovog vodnog režima koji izravno utječu na sve aspekte šireg okoliša.

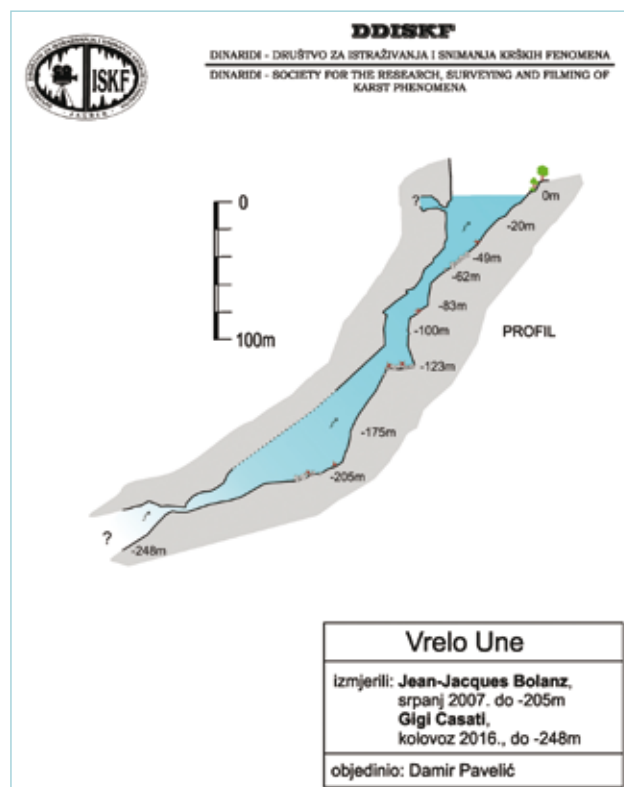
U članku su analizirane godišnje, mjesečne i dnevne karakteristične vrijednosti (minimumi, srednjaci i maksimumi) protoka. Kako je zbog ratnih uvjeta mjerenje bilo prekinuto u razdoblju od šest godina i šest mjeseci,

za analize su na raspolaganju stajala dva vremenska podniza. Nastavno opisane analize su pokazale da među njima postoje određene razlike koje će trebati detaljnije objasniti. Osim toga, analizirane su i vrijednosti karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih temperatura vode.

Cilj rada je da se najšira stručna javnost upozna s hidrološkim svojstvima ovog krškog izvora. Izneseni podatci i njihove analize trebali bi poslužiti kao podloga za brojne druge vrste istraživanja, a osobito one koji se bave problematikom ekologije i zaštite okoliša, ali i korištenja vodnih resursa ovog vrijednog krškog fenomena. Želja je autora da ovaj rad potakne i druge istraživače na detaljnije i sustavno interdisciplinarno izučavanje ovog vrijednog i do sada nedovoljno istraženog krškog fenomena.

## 2. OSNOVNE INFORMACIJE O ANALIZIRANOM LOKALITETU

U srpnju 2005. speleolog ronilac Jean Jacques Bolanz zaronio je u Vrelo Une do dubine 205 m. Tada je to predstavljalo svjetski rekord. U kolovozu 2016. Gigi Casati zaronio je do dubine 248 m, što predstavlja novi svjetski rekord (Kovačević, 2016.). Na taj je način Vrelo Une postalo najdublji istražen krški izvor u području Dinarida (Kovačević, 2016.). Na *slici 2* nacrtan je presjek kroz Vrelo Une čiji je dio (do 205 m) snimljen tijekom ekspedicije 2005. godine, a dio od 205 m do 248 m kompletiran je



Slika 2: Presjek kroz Vrelo Une snimljen 2016. godine (Kovačević, 2016.)

2016. godine, što predstavlja peti po dubini izvor u svijetu s tim da ih ima svega petnaestak dubokih preko 200 metara (Kovačević, 2016.). Iz navedenog presjeka vidljivo je da se radi o tipičnom uzlaznom (vokliškom) krškom izvoru nastalom na kontaktu propusnih i nepropusnih slojeva.

Prema Bognaru (2005.) nadmorska visina izvora se nalazi na koti 358,850 m n.m. Na samom izvoru formirano je jezero okruženo šumom i visokim strmim liticama planina Plješivice i Stražbenice. Voda koja izvire iz velikih dubina formira okruglo, mirno modrozeleno jezero dimenzija 30 m × 15 m. Zbog estetskih, krajobraznih, hidroloških, geomorfoloških i ekoloških vrijednosti prostor jezera i kanjon koji ga okružuje te 150 metara nizvodnog toka, ukupne površine 263 ha, 1968. godine proglašeno je zaštićenim hidrološkim spomenikom prirode (Devčić Buzov, 2010.). Od 2003. godine ovim lokalitetom upravlja Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Zadarske županije.

Prvi sedreni slap na rijeci Uni, visine 2 m, javlja se samo dvadesetak metara nizvodno od jezera, dok je oko 100 m nizvodno formiran razgranati sedreni slap visine od 3 m do 4 m. Prostor Vrela Une obrastao je zajednicom mahovina sedrotvoraca (*Cinclidotus-Platyhypnidium-Rivulogammarus*), dok sam izvor prekrivaju brojne alge koje mu daju modrozelenu boju. Užim prostorom Vrela Une dominira vodena mahovina (*Cinclidotus Aquaticus*) u kojoj su staništa i niše našli brojne životinjske vrste kao npr.: račići, virnjaci, ličinke tulara (*Trichoptera*), vodencvjetova (*Ephemeroidea*), puževa, ličinke raznih drugih kukaca te vodenih kornjaša. Duboko u vodi izvora otkriveni su čvoraši i riba peš. Na širem prostoru Vrela Une u brzim, čistim i hladnim vodama Une mrijesti se ugrožena vrsta potočne pastrve (*Salmo Trutta Fario*) (Devčić Buzov, 2010.).

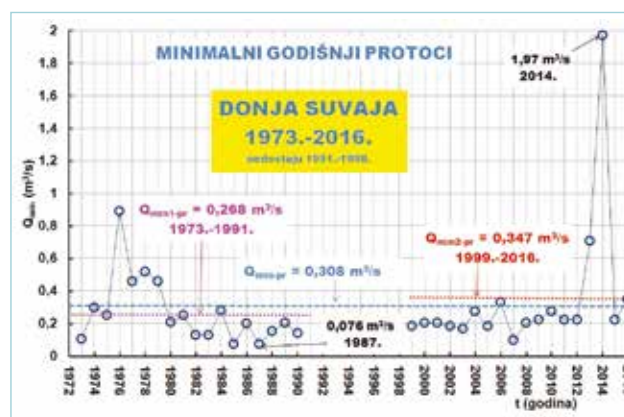
Žganec et al. (2010.) su utvrdili rasprostranjenost rakušaca duž toka rijeke Une i u Savi na ušću Une. Zabilježeno je pet autohtonih i jedna strana vrsta rakušaca iz porodica *Gammaridae* *Pontogammaridae*. Žganec et al. (2016.) su ustanovili da je endemska vrsta amphipoda *Echinogammarus acarinatus* rasprostranjena u prostoru od rijeke Une do delte rijeke Neretve.

### 3. ANALIZA GODIŠNJIH PROTOKA

U okviru ovog poglavlja izvršit će se analiza karakterističnih godišnjih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na vodomjernom profilu Donja Suvaja. Ova vrsta analize koristi se s ciljem izučavanja postojanja trendova ili naglih promjena (porasta ili padova) u karakterističnim protocima tijekom raspoloživog vremenskog niza.

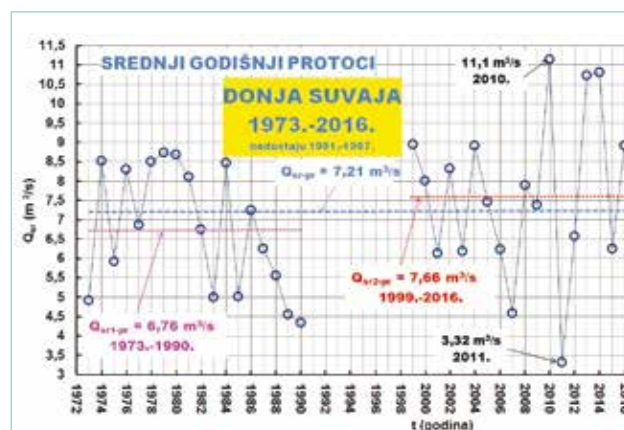
Na slici 3 prikazan je niz minimalnih godišnjih protoka opaženih na postaji Suvaja Donja u razdoblju 1973.-2016. (nedostaje razdoblje 1991.-1998.). Prosječni minimalni godišnji protok u cijelom razdoblju od raspoloživih 36 godina iznosio je  $Q_{\min-pr} = 0,308 \text{ m}^3/\text{s}$ , a kretao se u rasponu

od minimalnih  $0,076 \text{ m}^3/\text{s}$  (1987.) do maksimalnih  $1,97 \text{ m}^3/\text{s}$  (2014.). Bitno je uočiti da je u prvom podrazdoblju od 1973. do 1990. prosječni minimalni višegodišnji protok iznosio  $0,268 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je u drugom podrazdoblju od 1999. do 2016. bio viši za  $0,079 \text{ m}^3/\text{s}$  te iznosi  $0,347 \text{ m}^3/\text{s}$ . Testiranjem F-testom ustanovljeno je da se varijance u ova dva vremenska podskupa statistički značajno razlikuju ( $p < 0,01$ ), dok se prosjeci testirani t-testom statistički ne razlikuju značajno.



Slika 3: Niz minimalnih godišnjih protoka Vrela Une opaženih na postaji Suvaja Donja. Na slici su označene vrijednosti prosječnih minimalnih godišnjih protoka definirane za cijelo razdoblje (1973.-2016., nedostaje razdoblje 1991.-1998.) i za dva podrazdoblja (1973.-1990. i 1999.-2016.)

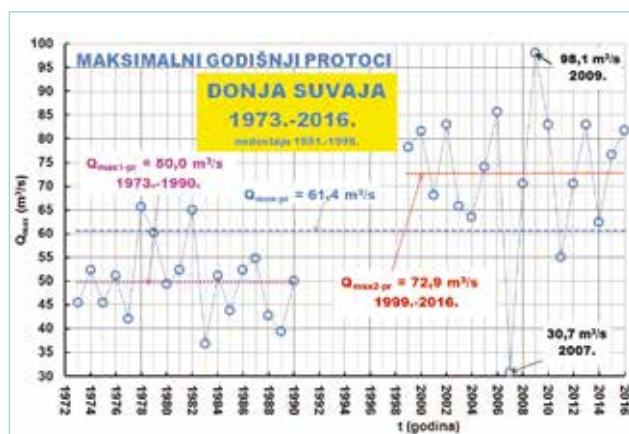
Na slici 4 prikazan je niz srednjih godišnjih protoka opaženih na postaji Suvaja Donja u razdoblju 1973.-2016. (nedostaje razdoblje 1991.-1998.). Prosječni srednji godišnji protok u cijelom razdoblju od raspoloživih 36 godina iznosio je  $Q_{sr-pr} = 7,21 \text{ m}^3/\text{s}$ , a kretao se u rasponu od minimalnih  $3,32 \text{ m}^3/\text{s}$  (2011.) do maksimalnih  $11,1 \text{ m}^3/\text{s}$  (2010.). Treba uočiti da je raspon srednjih godišnjih protoka vrlo velik. Najveći opaženi protok 3,34 puta je veći od onog najmanjeg. I u ovom slučaju u prvom podrazdoblju od 1973. do 1990. prosječni srednji višegodišnji protok u iznosu od  $6,76 \text{ m}^3/\text{s}$  bio je niži za



Slika 4: Niz srednjih godišnjih protoka Vrela Une opaženih na postaji Suvaja Donja. Na slici su označene vrijednosti prosječnih srednjih godišnjih protoka definirane za cijelo razdoblje (1973.-2016., nedostaje razdoblje 1991.-1998.) i za dva podrazdoblja (1973.-1990. i 1999.-2016.)

0,90 m<sup>3</sup>/s od onog izmjerenog u drugom podrazdoblju od 1999. do 2016. koji je iznosio 7,66 m<sup>3</sup>/s. Testiranjem F-testom i t-testom u ovom slučaju nije ustanovljeno da se varijance i/ili prosjeci izračunati u dva vremenska podskupa statistički značajno razlikuju.

Na slici 5 prikazan je niz maksimalnih godišnjih protoka opaženih na postaji Suvaja Donja u razdoblju 1973.-2016. (nedostaje razdoblje 1991.-1998.). Prosječni maksimalni godišnji protok u cijelom razdoblju od raspoloživih 36 godina iznosio je  $Q_{\max-pr} = 61,4$  m<sup>3</sup>/s, a kretao se u rasponu od minimalnih 30,7 m<sup>3</sup>/s (2007.) do maksimalnih 98,1 m<sup>3</sup>/s (2009.). Na osnovi prethodno navedenih podataka čini se da Vrelo Une spada u krške izvore s ograničenim maksimalnim kapacitetom istjecanja (Bonacci, 2001.). Razloge ograničenja njegovih maksimalnih izlaznih protoka moguće je pronaći u: (1) ograničenim dimenzijama krškog izlaznog provodnika; (2) tečenju pod tlakom; (3) prelijevanju iz njegovog sliva u slivove okolnih izvora; (4) skladištenju vode u jako karstificiranoj epikrškoj zoni itd. I u slučaju maksimalnih godišnjih protoka u prvom podrazdoblju od 1973. do 1990. prosječni maksimalni višegodišnji protok u iznosu od 50,0 m<sup>3</sup>/s bio je niži za 22,9 m<sup>3</sup>/s od onog izmjerenog u drugom podrazdoblju od 1999. do 2016. koji je iznosio 72,9 m<sup>3</sup>/s. Testiranjem F-testom i T-testom u ovom je slučaju utvrđeno da se i varijance ( $p < 0,02$ ) i prosjeci ( $p < 0,01$ ) izračunati u dva vremenska podskupa statistički značajno razlikuju.



Slika 5: Niz maksimalnih godišnjih protoka Vrelo Une opaženih na postaji Suvaja Donja. Na slici su označene vrijednosti prosječnih maksimalnih godišnjih protoka definirane za cijelo razdoblje (1973.-2016., nedostaje razdoblje 1991.-1998.) i za dva podrazdoblja (1973.-1990. i 1999.-2016.)

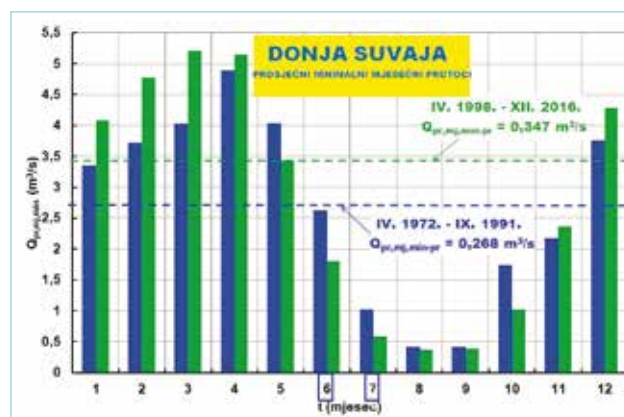
Činjenica da su u prvom podrazdoblju (1973.-1990.) karakteristični godišnji protoci uvijek bili niži od onih u drugom podrazdoblju (1999.-2016.), u dva slučaja čak i statistički značajno, upućuje na potrebu detaljnijeg izučavanja i objašnjavanja ovog fenomena. Radi li se samo o slučajnoj razlici, grešci pri određivanju krivulja protoka ili nečem drugom, bit će neophodno ustanoviti detaljnim analizama za koje se u ovom trenutku nije raspolagalo s odgovarajućim podlogama, prije svega

oborina i temperatura zraka u slivu Vrelo Une. Povećanje izdašnosti Vrelo Une u posljednjih 16 godina može se ocijeniti kao hidrološki povoljno, ali treba ukazati na činjenicu da je u široj regiji, pa i općenito u velikoj većini slučajeva, utvrđen upravo suprotan trend, tj. smanjivanje protoka. Razlog za to se često objašnjava kao posljedica globalnog zagrijavanja potpomognutog antropogenim utjecajima. Na prostoru Hrvatske, ali i zapadnog Balkana, utvrđena je pojava skoka temperatura zraka za oko 1 °C koja je upravo započela krajem osamdesetih godina dvadesetog stoljeća (Bonacci, 2010., 2012.).

#### 4. ANALIZA MJESEČNIH PROTOKA

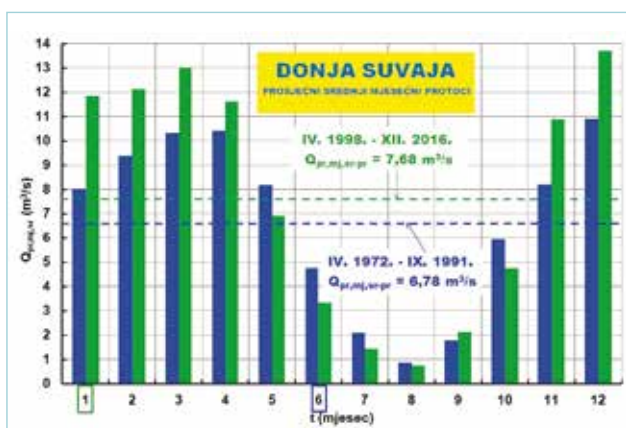
Analizom karakterističnih prosječnih mjesečnih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) moguće je zaključiti o eventualnim promjenama hidrološkog režima tijekom godine unutar dva podrazdoblja (1973.-1990. i 1999.-2016.), na čije je postojanje ukazala analiza karakterističnih godišnjih protoka izvršena u prethodnom poglavlju. Promjene hidrološkog režima tijekom godine mogu biti uzrokovane prirodnim, ali i antropogenim utjecajima.

Na slici 6 grafički su prikazane vrijednosti prosječnih minimalnih mjesečnih protoka opažene u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno-crvena boja). Urcrtane su i prosječne minimalne mjesečne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja. Prosječne vrijednosti u drugom podrazdoblju više su nego u prvom za 0,079 m<sup>3</sup>/s. Treba uočiti da su u razdoblju od svibnja do listopada (dakle u toplom dijelu godine) mjesečni prosječni minimalni protoci u drugom podrazdoblju niži od onih u prvom. Štoviše u lipnju i srpnju te su razlike i statistički značajne na razinama: (1)  $p < 0,04$  u lipnju; (2)  $p < 0,03$  u srpnju. Na slici su ta dva mjeseca označena modrim okvirom. U hladnom razdoblju godine, od studenog do travnja, mjesečni prosječni minimalni protoci su u drugom podrazdoblju niži od onih u prvom.



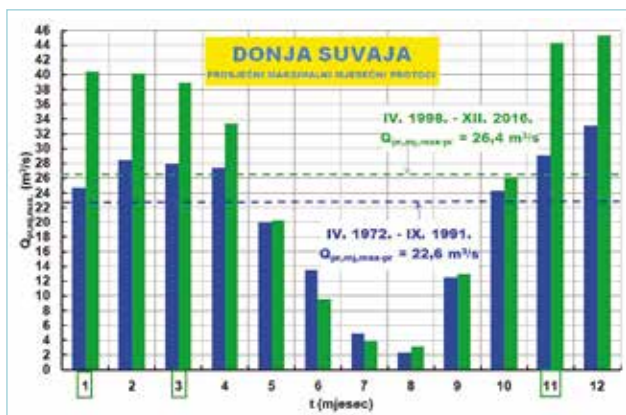
Slika 6: Grafički prikaz vrijednosti prosječnih minimalnih mjesečnih protoka opaženih u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno-crvena boja). Urcrtane su i prosječne minimalne mjesečne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja.

Na slici 7 grafički su prikazane vrijednosti prosječnih srednjih mjesečnih protoka opažene u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne srednje mjesečne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja. Prosječne vrijednosti u drugom podrazdoblju više su nego u prvom za 0,90 m<sup>3</sup>/s. U razdoblju od svibnja do kolovoza mjesečni prosječni srednji protoci u drugom podrazdoblju niži su od onih u prvom. U lipnju (označeno modrim okvirom) je ta razlika statistički značajna (p<0,05). U razdoblju od rujna do travnja mjesečni prosječni srednji protoci u drugom podrazdoblju niži su od onih u prvom, s tim da je u siječnju ta razlika statistički značajna (p<0,04), što je na slici označeno zelenim okvirom.



Slika 7: Grafički prikaz vrijednosti prosječnih srednjih mjesečnih protoka opaženih u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne srednje mjesečne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja.

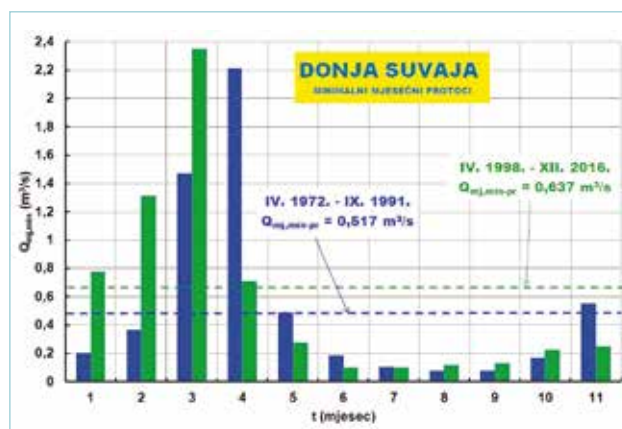
Na slici 8 grafički su prikazane vrijednosti prosječnih maksimalnih mjesečnih protoka opažene u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne maksimalne



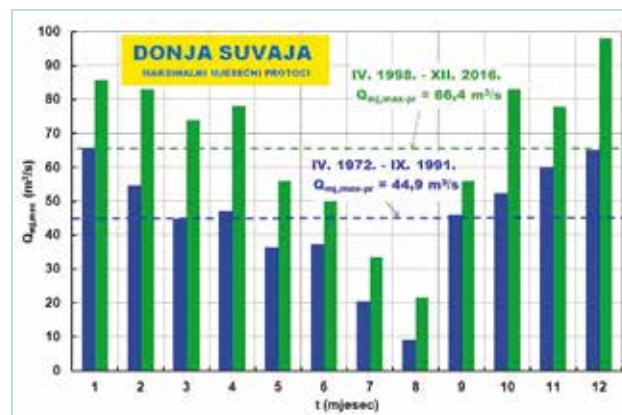
Slika 8: Grafički prikazane vrijednosti prosječnih maksimalnih mjesečnih protoka opaženih u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne maksimalne mjesečne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja.

mjesečne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja. Prosječne vrijednosti u drugom podrazdoblju više su nego u prvom za 3,8 m<sup>3</sup>/s. U razdoblju od lipnja do srpnja mjesečni prosječni maksimalni protoci u drugom podrazdoblju niži su od onih u prvom. U ostalom dijelu godine, od kolovoza do svibnja, mjesečni prosječni maksimalni protoci u drugom podrazdoblju niži su od onih u prvom. U sljedeća tri mjeseca (označeno zelenim okvirima) ta je razlika statistički značajna: (1) siječanj (p<0,04); (2) ožujak (p<0,05); (3) studeni (p<0,02).

Na slici 9 učrtane su vrijednosti minimalnih protoka opažene u pojedinom mjesecu godine u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja. Prosječne vrijednosti u drugom podrazdoblju više su nego u prvom za 0,120 m<sup>3</sup>/s. U razdoblju od travnja do srpnja te u prosincu su se pojavili niži minimalni protoci u drugom, nego u prvom podrazdoblju.



Slika 9: Grafički prikaz vrijednosti minimalnih mjesečnih protoka opaženih u pojedinom mjesecu godine u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja.



Slika 10: Grafički prikaz vrijednosti maksimalnih protoka opaženih u pojedinom mjesecu godine u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Učrtane su i prosječne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja.

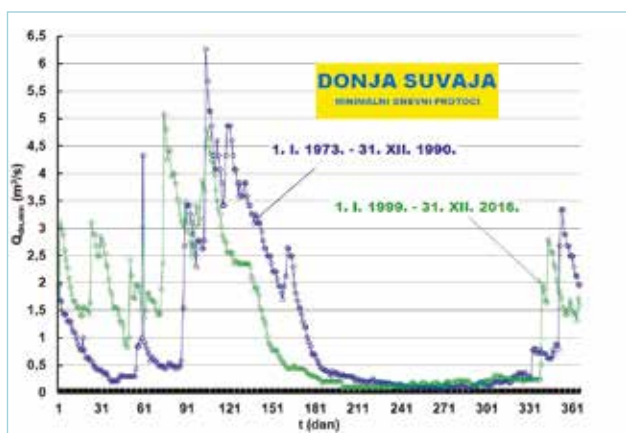
Na slici 10 ucrtane su vrijednosti maksimalnih protoka opažene u pojedinom mjesecu godine u dva podrazdoblja: (1) travanj 1972. – prosinac 1991. (modra boja); (2) travanj 1998. – prosinac 2016. (zeleno boja). Urcrtane su i prosječne vrijednosti protoka za oba podrazdoblja. Prosječne vrijednosti u drugom podrazdoblju više su nego u prvom za 21,5 m<sup>3</sup>/s. U razdoblju od travnja do srpnja te u prosincu su se pojavili veći maksimalni protoci u prvom, nego u drugom podrazdoblju. U svakom pojedinom mjesecu drugog podrazdoblja maksimalni mjesečni protoci bili su veći od onih u prvom podrazdoblju

Iz analiza izvršenih u ovom poglavlju moglo bi se zaključiti da je u drugom podrazdoblju došlo do preraspodjele hidrološkog režima Vrela Une tijekom godine u odnosu na prvo podrazdoblje. Svi karakteristični (minimalni, srednji i maksimalni) protoci u hladnom su dijelu godine povećani, dok su oni u toplom smanjeni. Pouzdanije zaključke nemoguće je donijeti bez detaljnijih izučavanja klimatoloških i antropoloških utjecaja koji su se pojavili u razmatranim razdobljima, a o kojima se ne raspolaže s podacima. Treba biti svjestan činjenice da su oba podrazdoblja relativno kratka (svako obuhvaća nepotpunih 19 godina ili 441 mjesec), što se ne može smatrati dovoljno dugim nizom za donošenje pouzdanih zaključaka. Bez obzira na tu konstataciju, analize izvršene u ovom i prethodnom poglavlju ukazuju na neophodnost nastavka istraživanja.

## 5. ANALIZA DNEVNIH PROTOKA

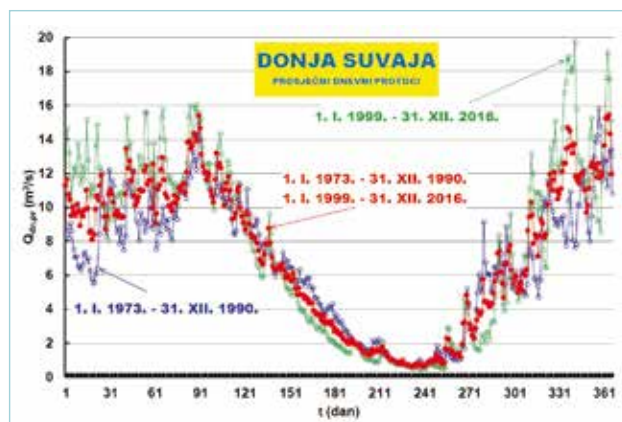
Analiza karakterističnih dnevnih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) omogućava detaljnije zaključivanje o postojanju eventualnih promjena hidrološkog režima tijekom godine.

Slika 11 predstavlja grafički prikaz minimalnih dnevnih protoka koji su izmjereni u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 1973. – 31. prosinca 1990. (modra boja); (2) 1. siječnja 1999. – 31. prosinca 2016. (zeleno boja).



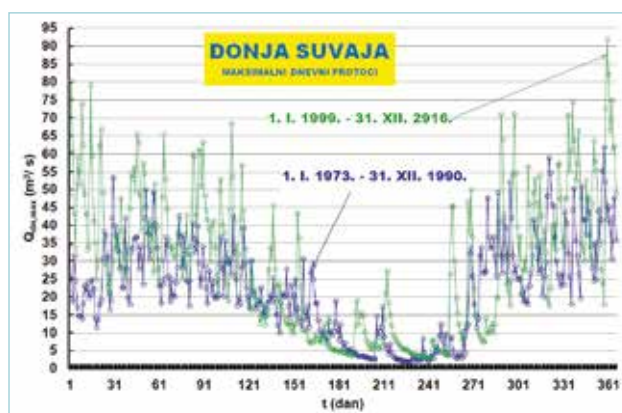
Slika 11: Grafički prikaz minimalnih dnevnih protoka koji su izmjereni u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 1973. – 31. prosinca 1990. (modra boja); (2) 1. siječnja 1999. – 31. prosinca 2016. (zeleno boja).

Slika 12 predstavlja grafički prikaz prosječnih dnevnih protoka koji su izmjereni u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 1973. – 31. prosinca 1990. (modra boja); (2) 1. siječnja 1999. – 31. prosinca 2016. (zeleno boja). Crvenom bojom su označeni prosječni dnevni protoci izmjereni u cjelokupnom raspoloživom razdoblju od 36 godina.



Slika 12: Grafički prikaz prosječnih dnevnih protoka koji su izmjereni u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 1973. – 31. prosinca 1990. (modra boja); (2) 1. siječnja 1999. – 31. prosinca 2016. (zeleno boja). Crvenom bojom su označeni prosječni dnevni protoci izmjereni u cjelokupnom raspoloživom razdoblju od 36 godina.

Slika 13 predstavlja grafički prikaz maksimalnih dnevnih protoka koji su izmjereni u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 1973. – 31. prosinca 1990. (modra boja); (2) 1. siječnja 1999. – 31. prosinca 2016. (zeleno boja).



Slika 13: Grafički prikaz maksimalnih dnevnih protoka koji su izmjereni u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 1973. – 31. prosinca 1990. (modra boja); (2) 1. siječnja 1999. – 31. prosinca 2016. (zeleno boja).

Iz grafičkih prikaza ucrtanih na slikama 11, 12 i 13 moguće je uočiti postojanje preraspodjele vodnih resursa tijekom godine u dva razmatrana podrazdoblja, što je ustanovljeno u dva prethodna poglavlja. U ovom su slučaju zaključci zasnovani na podacima karakterističnih (minimalnih, prosječnih i maksimalnih)

dnevnih protoka. U ovom je slučaju nešto teže precizno vremenski definirati pojavu preraspodjele. Ključan je razlog kratkoće raspoloživih nizova. Bez obzira na to i analiza karakterističnih dnevnih protoka potvrdila je da su vodni resursi Vrela Une tijekom recentnog razdoblja izdašniji u hladnom i vlažnom dijelu godine, dok su sada manje izdašni u toplom i sušnom dijelu, nego u prvom podrazdoblju.

Na slici 14 grafički su prikazane dvije krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka Vrela Une za najsušniju (2011.) godinu (ljubičasta boja) i najvlažniju (2010.) godinu (crvena boja) u cjelokupnom raspoloživom razdoblju. Zanimljivo je uočiti da se radi o dvije uzastopne godine koje se obje nalaze u drugom, dakle recentnom, podrazdoblju. Godišnje, izdašnost Vrela Une u raspoloživom razdoblju mjerenja kretala se u rasponu između  $105 \times 10^6 \text{ m}^3$  i  $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



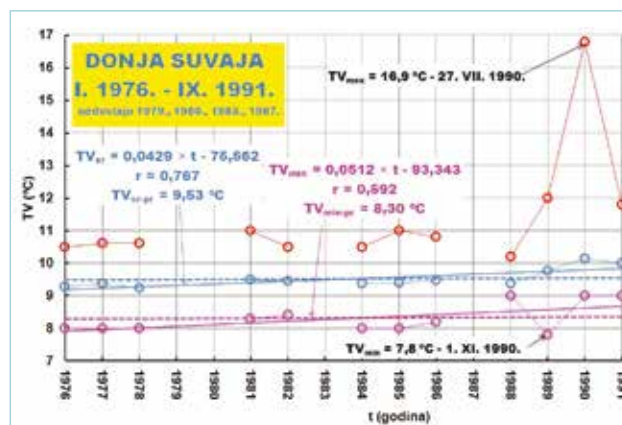
Slika 14: Krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka Vrela Une za najsušniju (2011.) godinu (ljubičasta boja) i najvlažniju (2010.) godinu (crvena boja) u cjelokupnom raspoloživom razdoblju

## 6. ANALIZA TEMPERATURE VODE

Temperatura vode svakog krškog izvora snažan je pokazatelj karakteristika krškog vodonosnika iz kojeg se izvor prihranjuje. Mjerenjem i analizom temperature vode krškog izvora moguće je doći do odgovora na brojna ključna pitanja vezana s cirkulacijom vode u prostoru krša. U slučaju Vrela Une raspolagalo se s mjerenjem temperature vode na profilu vodomjerne postaje Donja Suvaja u razdoblju od 1. siječnja 1976. do 30. rujna 1991., s prekidima u 1979., 1980., 1983. i 1987. Raspolagalo se, dakle, mjerenjima temperature vode, pretpostavlja se jednom dnevno između 7 i 8 sati ujutro, u trajanju od 11 kompletnih i jednom (1991.) nekompletnom godinom. Mjerenja su vršena samo tijekom prvog podrazdoblja te nisu obnovljena poslije kraja rujna 1991. godine. To bi trebalo svakako učiniti u najskorije vrijeme.

Na slici 15 ucrtana su tri niza karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih temperatura vode Vrela Une opaženih na postaji Suvaja Donja. Na nizovima minimalnih godišnjih temperatura

vode (ljubičasta boja) i srednjih godišnjih temperatura vode (plava boja) ucrtane su linije trenda i prosječne vrijednosti za cijeli raspoloživo razdoblje. U oba se slučaja uočava trend porasta. O njihovoj statističkoj značajnosti nema smisla raspravljati, jer se radi o prekratkim vremenskim nizovima koji su uz to i nekompletni. Međutim, treba uočiti da se prema Menn-Kendalovom trend testu radi o statistički značajnim vrijednostima koeficijenata linearne korelacije.



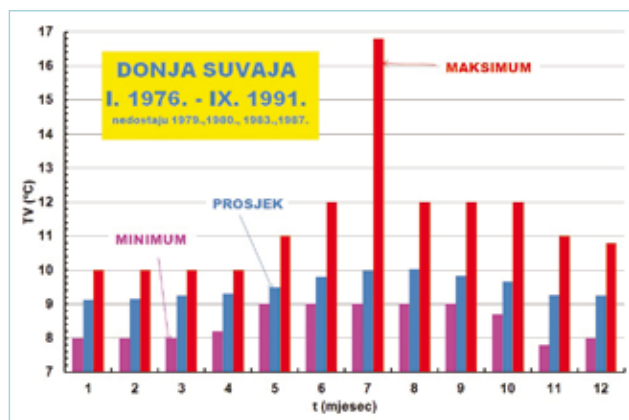
Slika 15: Tri niza karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih temperatura vode Vrela Une opaženih na postaji Suvaja Donja u razdoblju od 1. siječnja 1976. do 30. rujna 1991., s prekidima u 1979., 1980., 1983. i 1987.

Niz maksimalnih godišnjih temperatura vode Vrela Une opaženih na postaji Suvaja Donja ucrtan je na slici 15 crvenom bojom. Trend nije izračunat stoga jer je 27. srpnja 1990. izmjerena temperatura vode od  $16,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , što je znatno više od sljedeće najviše godišnje temperature vode koja je iznosila  $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na dan 27. srpnja 1990. protok Vrela Une je bio nizak te je iznosio  $0,225 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dan ranije i dan kasnije izmjerene su temperature vode od samo  $11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vrlo vjerojatno ova najviša temperatura od  $16,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$  nije mjerena u jutarnjem terminu te je možda mjerena i u zajezerenom dijelu vodotoka koji se ugrijava od visoke temperature zraka. U biti bi bilo najbolje eliminirati iz analiza tu temperaturu. Međutim, to bi trebali napraviti službenici Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba.

Na osnovi postojećih podataka moguće je definitivno zaključiti da temperatura vode Vrela Une varira u relativno uskim granicama između  $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $11 \text{ }^{\circ}\text{C}$  s prosječnom vrijednosti od oko  $9,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , što navodi na zaključak da se voda koja izbija na površinu zadržava duže vrijeme duboko u krškom podzemlju.

Na slici 16 se nalazi prikaz karakterističnih (minimalnih, prosječnih i maksimalnih) mjesečnih temperatura vode Vrela Une izmjerenih u raspoloživom razdoblju od 1. siječnja 1976. do 30. rujna 1991., s prekidima u 1979., 1980., 1983. i 1987.

Pri donošenju zaključaka o ponašanju temperature vode Vrela Une treba imati na umu činjenicu da se one mjere oko 500 m nizvodno od samog izlaznog profila. Na



Slika 16: Prikaz karakterističnih (minimalnih, prosječnih i maksimalnih) mjesečnih temperatura vode Vrela Une izmjerenih u raspoloživom razdoblju od 1. siječnja 1976. do 30. rujna 1991., s prekidima u 1979., 1980., 1983. i 1987.

tom je putu voda izvrnuta utjecaju temperature zraka. Osim toga, jedno mjerenje tijekom dana nije dovoljno za donošenje detaljnih i pouzdanih zaključaka. Stoga se predlaže da se u jezeru samog izvora montira automatski registrator koji će kontinuirano mjeriti temperaturu vode i njenu električnu vodljivost. Danas su takovi uređaji jeftini, a takova vrsta mjerenja bi mogla omogućiti donošenje ključnih zaključaka vezanih s porijeklom vode Vrela Une.

## 7. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNI RAD

Iako je područje Vrela Une još prije pedeset godina proglašeno zaštićenim hidrološkim spomenikom prirode, o njegovim hidrološkim svojstvima u literaturi gotovo da i nema podataka. Ovaj bi rad trebao poslužiti da se ispravi ta očita nelogičnost i veliki nedostatak koji značajno utječe na činjenicu mogućnosti boljeg upravljanja i održivog razvoja ovog apsolutno vrijednog krškog vodnog fenomena. Treba naglasiti i činjenicu da je hidrologija cijele Une relativno slabo izučena. Razloga ima više. Jedan leži u činjenici što se radi o graničnom i prekograničnom vodotoku, a drugi se može naći u činjenici da su se tijekom ratnih zbivanja u posljednjem desetljeću dvadesetog stoljeća prekinula motrenja hidroloških (ali i ostalih) parametara te je uništena njihova infrastruktura i oprema, a proces obnavljanja ide sporo.

U najnovije se vrijeme ova situacija mijenja na bolje. Korjenić (2014.) je analizirala osnovne karakteristike vodnog režime i bilance voda dijela rijeke Une i pritoka u Bosni i Hercegovini od hidrološke postaje Martin Brod do Bosanske Dubice. Dana 10. svibnja 2017., ekipe iz Federalnog hidrometeorološkog zavoda iz Sarajeva i Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske iz Zagreba izvršile su zajedničko mjerenje protoka rijeke Une na lokalitetu Štrbački Buk (Kupusović

i Šiljak, 2017.). Radi se o provođenju odluke Savske komisije koja je uspostavila platformu za razmjenu i korištenje hidroloških i meteoroloških informacija među relevantnim nacionalnim institucijama u slivu rijeke Save. Ovakve aktivnosti svakako treba podržati i intenzivirati, osobito u slučaju rijeke Une, jer se radi o jednom istinski prekrasnom i vrijednom (ali nedovoljno izučenom) slivu i vodotoku. Činjenica je da treba shvatiti i u praksi primijeniti da cjeloviti sliv rijeke Une, a osobito sam vodotok treba zajednički tretirati i štititi. Za to je neophodno potrebno stvoriti učinkovite institucionalne okvire.

Rezultati prikazani u ovom radu ukazali su na potencijalno postojanje razlika u hidrološkom režimu Vrela Une u dva analizom obuhvaćena podrazdoblja. Toj problematici bit će potrebno u budućim istraživanjima posvetiti dužnu pažnju kako bi se utvrdilo postoje li zaista razlike, te ako postoje, što ih je uzrokovalo. Velik nedostatak za pouzdano zaključivanje o dinamičkim procesima koji su se posljednjih pedesetak godina odvijali u analiziranom prostoru leži u činjenici prekida motrenja od listopada 1991. do travnja 1998.

Od osobite bi važnosti bilo utvrditi vododijelnicu sliva, a time i površinu sliva analiziranog krškog izvora. Kako se radi o kršu, to neće biti ni malo lagan zadatak. Treba računati na mogućnost da se položaj vododijelnice, a time i površina sliva, mogu vrlo brzo i snažno mijenjati tijekom vremena u zavisnosti o razinama podzemne vode krškog vodonosnika iz kojeg se izvor prihranjuje. Nažalost, ne raspolaže se s nikakvim informacijama o razinama i ponašanju podzemne vode. U slivu Vrela Une treba instalirati barem dvije meteorološke postaje koje će biti sposobne kontinuirano mjeriti, prije svega, oborine kratkog trajanja i temperaturu zraka. Posebnu pažnju treba obratiti na mjerenje snijega i utjecaj njegovih rezervi te procesa otapanja na hidrološko ponašanje Vrela Une tijekom proljeća.

Posebno važan problem na koji se treba obratiti pažnja su analize temperatura vode. U radu je uočeno da možda postoji trend porasta temperatura vode. Tu pretpostavku treba dokazati ili opovrgnuti. Kako danas živimo u vremenu u kojem se mnogo toga pokušava objasniti globalnim zagrijavanjem, neophodno je u samom jezeru Vrela Une u blizini izlaza i na dubini najmanje od nekoliko metara instalirati instrument CT DIVER koji će, najmanje, kontinuirano mjeriti temperaturu vode i električnu provodljivost. Mjerenje i nekih drugih kemijskih parametara vode pomoglo bi detaljnijem sagledavanju i objašnjavanju procesa koji se zbivaju na Vrelu Une i u njegovom slivu.

Ostaje nada da će ovaj članak potaknuti institucije i pojedince da započnu sustavna istraživanja prije svega Vrela Une, a potom i cijelog sliva ove neprocjenjivo vrijedne rijeke i njenih vodnih i ekoloških resursa. ■



## LITERATURA

- Bognar, A. (2005.): The Upper Part of the Una River Valley Between Martin Brod and Pritoka – Geomorphological Characteristics. *Hrvatski Geografski Glasnik*, 67(2):21–38.
- 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. (2012.): Increase of mean annual surface air temperature in the western Balkans during last 30 years. *Vodoprivreda*, 44(255-257):75–89.
- Devčić Buzov, I. (2010.): Vrelo Une – hidrološki spomenik prirode. *Hrvatske šume*, XIV(162):8–9.
- Korjenić, A. (2014.): Basic characteristic water regime and water balance of the River Una. *Acta Geographica Bosniae and Herzegovine*, 2:65–75.
- Kovačević, T. (2016.): Najnoviji rezultati speleoronilačkih istraživanja u dva hrvatska speleoronilačka bisera. *SCUBALife*, 86:1–4.
- Kupusović, E., Šiljak, M. (2017.): Zajednička mjerenja proticaja – Rijeka Una Štrbački Buk. *Voda i Mi*, 96:35–40.
- Žganec, K.; Gottstein, S.; Đurić, P. (2010.): Distribution of native and alien gammarids (Crustacea: Amphipoda) along the course of the Una River. *Natura Croatica*, 19(1):141–150.
- Žganec, K.; Lunko, P.; Stroj, A.; Mamos, T.; Grabowski, M. (2016.): Distribution, ecology and conservation status of two endemic amphipods, *Echinogammarus acarinatus* and *Fontogammarus Dalmatinus*, from the Dinaric karst rivers, Balkan Peninsula. *Annales de limnologie – International Journal of Limnology*, 52: 13–26.

### Towards the hydrology of karst spring Vrelo Une

**Abstract.** The paper analyses hydraulic data (discharges and water temperatures) measured at the station Donja Suvaja, which is a hydrological station located about 500 m downstream of the karst spring Vrelo Une, thus controlling its hydrological regime. For the performance of analyses, mean daily discharges in the period from April 1, 1972 to September 30, 1991 and April 3, 1998 to December 31, 2016 were available. Daily water temperatures were measured in the period from January 1, 1976 to September 30, 1991, with interruptions in the periods of the following four years: 1979, 1980, 1983 and 1987. The maximum and minimum annual discharge values in the periods 1973–1990 and 1999–2016 were also available. The spring Vrelo Une discharges range from the measured minimum of 0.076 m<sup>3</sup>/s to the measured maximum of 98.1 m<sup>3</sup>/s. The average annual discharge value in the available period equalled 7.21 m<sup>3</sup>/s, with mean annual discharges ranging from 3.32 m<sup>3</sup>/s to 11.1 m<sup>3</sup>/s. Changes in the hydrological regime were determined in the second subperiod (from April 3, 1998 to December 31, 2016) with regard to the first subperiod (from April 1, 1972 to September 30, 1991), indicating a possibility of an occurring upward trend in the spring water temperature. Since these were relatively short time series, these statements need to be confirmed with further detailed measurements and analyses. The final consideration offers proposals for establishing a detailed climatological and hydrological monitoring to improve the understanding of the processes occurring in the spring.

**Key words:** karst spring, annual, monthly and daily discharges, water temperature, Vrelo Une (Croatia)

### Beitrag zur Hydrologie der Quelle Vrelo Une

**Zusammenfassung.** Im Artikel werden hydrologische Angaben (Durchflüsse und Wassertemperatur) analysiert, die an der Station Donja Suvaja gemessen wurden. Diese Station befindet sich etwa 500 Meter flussabwärts von der Karstquelle Vrelo Une und dient zur Beobachtung des hydrologischen Regimes der Quelle. Die Angaben über mittlere Tagesdurchflüsse in Zeiträumen vom 1. April 1972 bis 30. September 1991 und vom 3. April 1998 bis 31. Dezember 2016 standen für die Analyse zur Verfügung. Die Tagestemperaturen des Wassers wurden im Zeitraum vom 1. Januar 1976 bis 30. September 1991 mit Unterbrechungen in den Jahren 1979, 1980, 1983 und 1987 gemessen. Außerdem standen die Angaben über maximale und minimale Jahresdurchflüsse in Zeiträumen 1973–1990 und 1999–2016 zur Verfügung. Der Durchfluss der Quelle Vrelo Une bewegt sich zwischen dem Minimalwert von 0,076 m<sup>3</sup>/s und dem Maximalwert von 98,1 m<sup>3</sup>/s. Der mittlere Jahreswert des Durchflusses beträgt 7,21 m<sup>3</sup>/s, und die mittleren Jahresdurchflüsse bewegen sich zwischen 3,32 m<sup>3</sup>/s und 11,1 m<sup>3</sup>/s. Es konnten Änderungen des hydrologischen Regimes im zweiten Zeitraum (3. April 1998 bis 31. Dezember 2016) im Vergleich zum ersten Zeitraum (1. April 1972 bis 30. September 1991) beobachtet werden. Es wird auf die Entwicklungstendenz zur Erhöhung der Temperatur des Quellenwassers hingewiesen. Da es sich um relativ kurze Zeitreihen handelt, sollen diese Behauptungen mit weiteren Detailmessungen und Analysen bestätigt werden. Abschließend werden Vorschläge zur Einführung der klimatologischen und hydrologischen Überwachung gegeben, die ein besseres Verständnis der an dieser Quelle vor sich gehenden Prozesse ermöglichen wird.

**Schlüsselwörter:** Karstquelle, Jahres-, Monats- und Tagesdurchflüsse, Wassertemperatur, Vrelo Une (Kroatien)