

Stručni članak | Professional paper | UDK: 556.5(497.5 Ombla)
Primljeno (Received): 16.04.2023.; Prihvaćeno (Accepted): 20.06.2023.

NOVI PRILOZI ZA HIDROLOGIJU KRŠKOG IZVORA OMBLE

Ognjen Bonacci

Sveučilište u Splitu
Fakultet građevinarstva, arhitekture
i geodezije
Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska
obonacci@gradst.hr

Tanja Roje-Bonacci

Sveučilište u Splitu
Fakultet građevinarstva, arhitekture
i geodezije
Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska

Krški izvor Omble spada među najizdašnije izvore Dinarskog krša. U ovom radu naglasak je stavljen na analizu njegove temperature vode. Raspolagalo se s podacima satnih mjerenja u razdoblju od 1. siječnja 2007. u 0 sati do 31. prosinca 2021. u 23 sata. Vršene su analize na različitim vremenskim skalama od godine preko mjeseca i dana do sata. Utvrđeno je da unutar ovog razdoblja postoje dva podrazdoblja s različitim karakterističnim (minimalnim, prosječnim i maksimalnim) temperaturama vode. U prvom podrazdoblju koje je trajalo od 1. siječnja 2007. u 0 sati do 24. siječnja 2012. u 8 sati vrijednosti minimalne, prosječne i maksimalne temperature vode bile su: 12,5 °C; 13,83 °C i 15,0 °C. U drugom podrazdoblju od 24. siječnja 2012. u 9 sati do 31. prosinca 2021. u 23 sata došlo je do naglog pada karakterističnih temperatura koje su iznosile: 10,9 °C; 12,91 °C i 14,0 °C. Razloge ovakve nagle promjene, tj. pada od oko 1 °C, pokušalo se utvrditi usporedbama s temperaturom zraka mjerenom na postaji Dubrovnik i protokom izvora Omble. Nažalost, od 1. siječnja 2015. godine nadalje ne određuje se protok izvora Omble. Utvrđeno je da temperatura vode reagira na temperaturu zraka sa zakašnjenjem od oko mjesec dana. Zbog ogromnog značaja ovog krškog izvora neophodno je utvrditi razloge koji su doveli do nagle promjene temperature vode krajem siječnja 2012. godine.

Ključne riječi: krški izvor, protok, temperatura zraka, temperatura vode, izvor Omble

1. UVOD

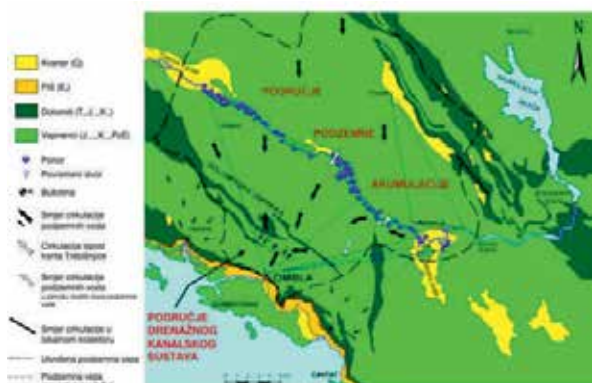
Dinarski krš jedinstveno je i specifično područje koje se proteže duž jugozapadne Slovenije, zapadne i južne Hrvatske, zapadne Bosne i Hercegovine, cjelokupne Crne Gore i sjevernog dijela Albanije. Dinarski krš je odavno prepoznat i u svijetu priznat prirodni krajolik bogat iznimnom geološko-hidrogeološkom i biološkom raznolikošću. Ovaj prostor ima veliku znanstvenu vrijednost u svjetskim razmjerima jer predstavlja klasični tip krša (*locus typicus*). Prvi je istraženi sustav tog tipa u svijetu i idealan primjer krša jer se odlikuje cjelokupnim rasponom površinskih i podzemnih krških oblika. Ujedno je i prostor gdje su razvijene prve teorije o toku i

cirkulaciji vode u krškim prostorima (Cvijić 1893.).

Krški izvori koji na području Dinarskog krša predstavljaju dreniranje i pražnjenje bogatih krških vodonosnika pružaju neprocjenjive koristi ljudima i ekosustavima u tom inače na prvi pogled negostoljubivom prostoru (npr. Roglić 1976.; Bonacci 1987., 2015; Kranjc 2004. itd.). Razvoj napredne civilizacije na tim je prostorima izravno i duboko vezan uz postojanje i funkcioniranje krških izvora. To se prije svega odnosi na priobalni dio Dinarskog krša koji se prostire duž cijele istočne obale Jadranskog mora. U tom smislu osobitu ulogu odigrali su i još uvijek igra nekoliko velikih krških izvora od kojih će u ovom radu



Slika 1: Područje istraživanja



Slika 2: Hidrogeološka karta sliva (preuzeto od Žugaj i sur., 2011.)

biti analiziran izvor Omble iz kojeg se grad Dubrovnik i okolica opskrbljuje kvalitetnom pitkom vodom. Uz izvor rijeke Bune radi se o vodom najbogatijem izvoru u Dinarskom kršu.

Kod većine krških izvora iz kojih istječu značajne količine podzemne vode izlazni otvor je jasno definiran i uočljiv. Takav je slučaj i s izvorom Omble (slika 1). Svaki krški izvor predstavlja izlaznu točku podzemne vode iz kompleksnog integriranog krškog vodnog sustava koji se sastoji od brojnih površinskih i podzemnih krških, ali i drugih struktura i oblika. Svi oni snažno utječu na njegove hidrološke i hidrogeološke karakteristike (Kresic 2023). Dok su u prostoru krša površinski oblici i strukture uglavnom uočljivi, oni podzemni najčešće su nepoznati.

Specifičnost je ovog izvora, čija se lokacija nalazi u Hrvatskoj, u tome da je najveći dio sliva pa prema tome i vodonosnika u Bosni i Hercegovini. U prostoru njegovog sliva, koji još uvijek nije precizno definiran, već se decenijama izvode značajni antropogeni zahvati, a planiraju se i novi. Iako su do sada, za naše prilike, vršena relativno brojna istraživanja ona nisu dala sve potrebne odgovore o složenoj strukturi i ponašanjima unutar ovog krškog sustava. Oni su sasvim sigurno bitno utjecali i danas utječu na hidrološka, hidrogeološka, kemijska, biološka i ostala svojstva vode koja iz njega izbija na površinu.

Naslov ovog članka mogao bi biti »Zašto je došlo do nagle promjene temperature vode izvora Omble«. U nastavku rada je detaljno argumentirana činjenica da su temperature vode izvora u jednom trenutku (krajem siječnja 2012.) naglo pale za prosječno 0,92 °C. Slično sniženje se desilo i s minimalnim i maksimalnim godišnjim temperaturama vode. Takav proces se zbiva u razdoblju najintenzivnijeg porasta temperature zraka

u regiji i šire. Radi se o rijetkoj i zasada nerazjašnjenom pojavi. O čemu se s temperaturom vode na izvoru Omble radi neophodno je žurno i detaljno istražiti prvenstveno stoga jer su vodne količine ovog krškog izvora ključne za vodoopskrbu regije te predstavljaju nacionalno bogatstvo o kojem smo dužni voditi brigu. Osim toga, treba ukazati na činjenicu da se počevši od 1. siječnja 2015. prestalo definirati protoke za vodostaje niže od određene vrijednosti. Posljedica toga je da se ne raspolaže sa službeno utvrđenim protocima od 2015. do danas. Radi se o nenadoknadivom gubitku egzistencijalno značajnih hidroloških informacija o jednom od najvažnijih krških izvora Dinarskog krša.

Ovaj je članak napisan namjerom da se pridonese rasvjetljavanju procesa koji se zbivaju u slivu izvora Omble i drastično manifestiraju na temperature vode. U ovom radu analizirat će se ponašanje vremenskih nizova godišnjih, mjesečnih, dnevnih i satnih temperature vode izvora Omble opaženih u razdoblju od 1. siječnja 2007. u 0 sati do 31. prosinca 2021. u 23 sata. Bit će analiziran odnos temperature vode izvora s temperaturama zraka Dubrovnika i protoka izvora Omble u različitim vremenskim skalama. Koliko nam je poznato dosada podaci o temperaturama vode mjereni od 2007. godine do danas nisu bili analizirani niti publicirani u nijednom javno objavljenom stručnom ili znanstvenom radu.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Izvor Omble

Izvor rijeke Omble (Rijeke dubrovačke) nalazi se oko 5 km sjeverozapadno od središta Dubrovnika u mjestu Komolcu, podno stijene nazvane Golubov kamen. Izvorski se dio sastoji od tri duboka sifonska kanala s tri koncentrirana mjesta istjecanja nazvana: (1) Glavni izvor; (2) Babe; (3) Crkvice. Procijenjeno je da iz Glavnog izvora istječe oko 80 % od ukupne izdašnosti (Milanović, 2021.). Hidrološka postaja je započela s radom 11. studenog 1952. postavljanjem vodokaza u samom izvorište Omble, uzvodno od improvizirane brane. Geografske koordinate vodokaza su: (1) širina 42° 40' 31" N; (2) dužina: 18° 08' 14" E. Kota nule vodokaza je 2,377 m nad morem (mnm). 1995. godine instaliran je limnigraf. U prosincu 2006. godine ugrađen je instrument THALIMEDES tvrtke OTT i digitalni senzor za mjerenje temperature vode, te dojavni sustav ADOS.

Korištenjem isključivo geoloških saznanja Milanović (1996) je procijenio da površina sliva Omble iznosi oko 600 km². Primjenom hidroloških metoda utvrđeno je da je površina sliva izvora Omble znatno veća te da se kreće između 850 i 1100 km² (Bonacci 1995; Roje-Bonacci i Bonacci 2013; Bonacci i sur. 2014). Na slici 2 nalazi se hidrogeološka karta sliva preuzeta iz rada Žugaj i sur. (2011.). Čitatelje koji su zainteresirani za detaljnije geološko hidrogeološke informacije vezane uz sliv i izvor Omble upućujemo na radove: Paviša (2015) te Paviša i Sever (2015). Oko 90 % sliva izvora Omble izgrađeno je od jako propusnih vapnenaca koji uz postojanje

brojnih krških površinskih oblika (vrtača, povremenih i stalnih ponora itd.) omogućavaju brzu infiltraciju vode s površine u podzemlje (Buljan i sur., 2000.). Kao posljedica intenzivnih tektonskih aktivnosti koje pospješuju okršavanje postojeće stijenske mase, u slivu postoje brojna krška polja i poljica formirana u obliku terasa od najviše nadmorske visine na oko 1000 mnm do one na par metara iznad razine mora. Definiranje pouzdane vrijednosti površine sliva izvora Omble otežano je i zbog toga što su podaci o oborinama i temperaturama zraka u području sliva i oko njega rijetki i variraju u vrlo visokim rasponima. Oborinski režim je pod izravnim utjecajem složene orografije. Primjera radi se navodi da prosječna godišnja oborina Dubrovnika iznosi godišnje oko 1220 mm. Na meteorološkoj postaji Vukovići, udaljenoj od postaje Dubrovnik zračnom linijom oko 7 km, prosječna godišnja oborina iznosi 1800 mm, a na postaji Hum udaljenoj 12,5 km doseže vrijednost od 2100 mm. Dok prosječna godišnja temperatura zraka Dubrovnika danas iznosi 17 °C u brdskim predjelima sliva ona je znatno niža i varira od 10 °C do 13 °C. Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da je u posljednjih tridesetak godina došlo do naglog porasta temperatura zraka u široj regiji.

2.2. Raspoloživi materijali

Svi hidrološki i meteorološki podaci korišteni u ovom radu dobiveni su od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) iz Zagreba. U ovom radu bit će analizirani vremenski nizovi sljedećih hidroloških i klimatoloških parametara:

(1) minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka izvora Omble u razdoblju od 1962. do 2014. Za maksimalne godišnje protoke raspolagalo se s podacima za razdoblje 1962. - 2021. (nedostaju 2019. i 2020.). Važno je naglasiti da od 1. siječnja 2015. DHMZ ne mjeri male vode te se stoga ne računaju dnevni, mjesečni i godišnji srednji protoci.

(2) srednjih godišnjih temperatura zraka izmjerenih na opservatoriju Dubrovnik u razdoblju 1961. - 2021.

(3) satnih temperatura vode izvora Omble u razdoblju od 1. siječnja 2007. u 0 sati do 31. prosinca 2021. u 23 sata.

2.3. Metode analize

Korištenjem teorije najmanjih kvadrata izračunati su pravci regresije vremenskih nizova sljedećih klimatoloških i hidroloških parametara: (1) karakterističnih (minimalnih srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka, Q , izvora Omble; (2) srednjih godišnjih temperatura zraka, TZ , Dubrovnika; (3) srednjih godišnjih, mjesečnih, dnevnih i satnih temperatura vode, TV , izvora Omble. Za svaki analizirani niz izračunati su koeficijenti determinacije, R^2 .

Korištenjem teorije najmanjih kvadrata izračunate su i krivulje drugog reda vremenskih nizova sljedećih klimatoloških i hidroloških parametara: (1) srednjih godišnjih protoka, Q , izvora Omble; (2) srednjih godišnjih temperatura zraka, TZ , Dubrovnika. Za svaki

analizirani niz izračunati su koeficijenti determinacije, R^2 . Izračunate su autokorelacije nizova srednjih mjesečnih temperatura vode, TV , izvora Omble u dva podrazdoblja.

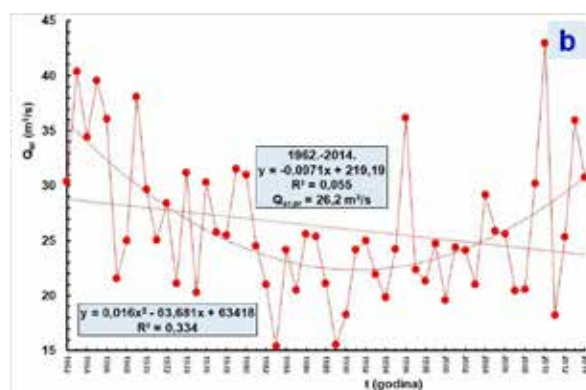
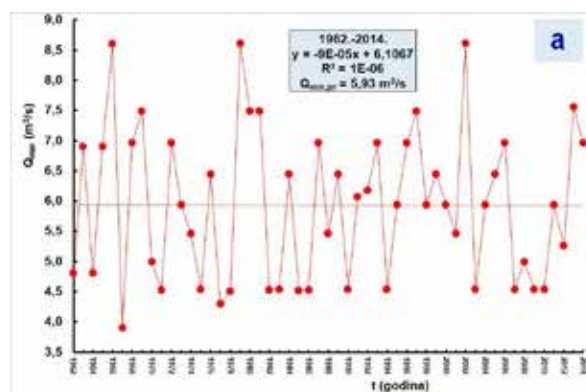
Metodom *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) (Garbrecht i Fernandez 1994; Bonacci i Roje-Bonacci 2018) analizirana je unutrašnja struktura vremenskih nizova sljedećih parametara: (1) srednjih godišnjih temperatura zraka, TZ , Dubrovnika; (2) srednjih mjesečnih i satnih temperatura vode, TV , izvora Omble.

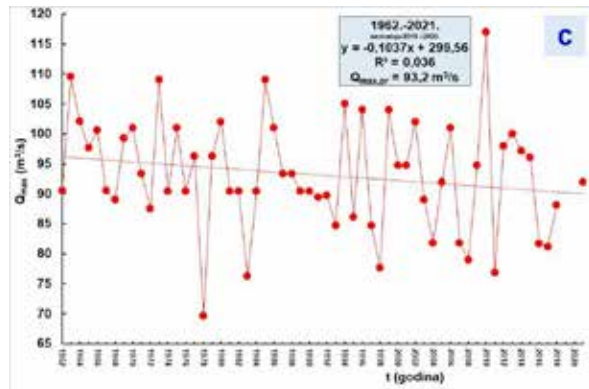
Statistička značajnost razlika između prosječnih vrijednosti dva susjedna podrazdoblja definirana RAPS metodom određivana je primjenom F-testa i t-testa (Pavlič 1962; McGhee 1985). F-testom je ispitivana jednakost varijanci dvije normalno raspodijeljene populacije, dok se t-test koristimo za kvantitativnu procjenu da li se prosječne vrijednosti dva susjedna vremenska podskupa statistički značajno razlikuju. U oba testa kao nivo za prihvaćanje hipoteze da se prosječne vrijednosti podnizova statistički značajno razlikuju izabrana je vjerojatnost $p < 0,01$.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Protok

Na slici 3 ucrtani su nizovi minimalnih (slika 3a), srednjih (slika 3b) i maksimalnih (slika 3c) godišnjih protoka izvora Omble. Na slikama su ucrtani i pravci regresije te su upisane njihove jednadžbe kao i vrijednosti kvadrata koeficijenta linearne korelacije.





Slika 3: Nizovi minimalnih, Q_{\min} , (slika 3a), srednjih, Q_{gr} , (slika 3b) i maksimalnih, Q_{\max} (slika 3c) godišnjih protoka opaženih na izvoru Omble

U slučaju niza srednjih godišnjih protoka ucrtana je i krivulja drugog reda (parabola) te je upisana njena jednačba kao i indeks nelinearne korelacije.

Minimalni protok koji se pojavio u raspoloživom razdoblju je procijenjen na iznos od $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksimalni protok procijenjen je na $117 \text{ m}^3/\text{s}$. Prosječni godišnji protok u razdoblju 1962. - 2014. iznosio je $26,2 \text{ m}^3/\text{s}$. S obzirom na veličinu sliva, obilne i intenzivne oborine koje se na njemu javljaju, kao i njegov krški karakter, zaključeno je da se radi o izvoru s ograničenim maksimalnim kapacitetom istjecanja (Bonacci 2001). Što se minimalnih protoka tiče, moguće je zaključiti da se izvor napaja iz stabilnog i velikog krškog vodonosnika.

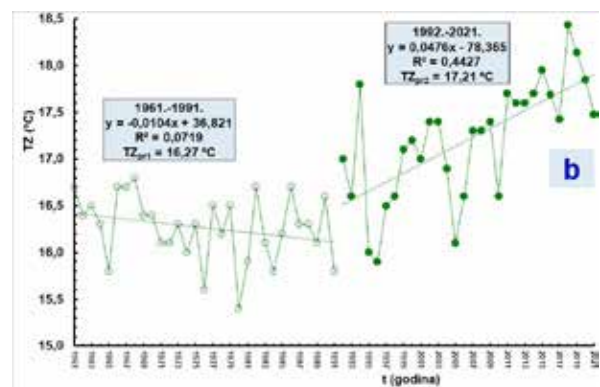
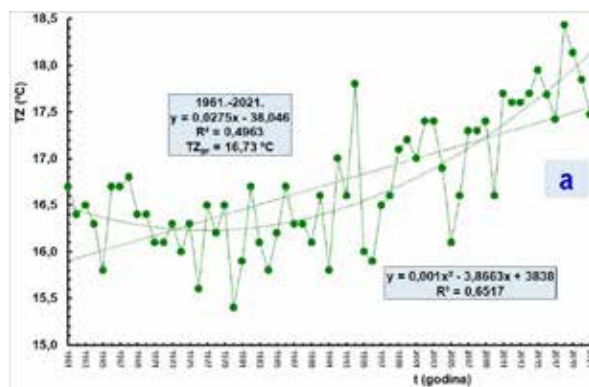
Dok se kod niza minimalnih godišnjih protoka ne javlja nikakav trend, kod niza maksimalnih protoka trend je opadajući, ali nije statistički značajan. Poseban problem postoji s interpretacijom ponašanja srednjih godišnjih protoka. Linearni trend pokazuje opadanja dok nelinearni trend (parabola) ukazuje na to da je ponašanje protoka tijekom raspoloživog vremena značajno složenije. Primjenom RAPS metode definirana su sljedeća tri podrazdoblja: (1) 1962. - 1981.; (2) 1982. - 2008.; (3) 2009. - 2014. Prosječne vrijednosti protoka u svakom od ta tri podrazdoblja iznosile su: (1) $29,50 \text{ m}^3/\text{s}$; (2) $22,88 \text{ m}^3/\text{s}$; (3) $30,58 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezultati F-testa pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika varijanci između

susjednih podnizova. Istovremeno, rezultati t-testa ukazuju da se prosječne vrijednosti protoka u susjednim podnizovima statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,01$.

Pouzdana zaključke o razlozima ovakvog ponašanja srednjih godišnjih protoka izvora nije moguće donijeti zbog toga što od 2015. na dalje nisu definirane vrijednosti godišnjih protoka. Gubitak ovih informacija nenadoknadiv je. Bez njih će biti nemoguće utvrditi utjecaj brojnih antropogenih zahvata na hidrološki režim izvora Omble te ga odvojiti od klimatskih varijacija. Poznato je da je kanaliziranjem i betoniranjem korita Trebišnjice u Popovom polju, početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća, došlo do smanjivanja gubitaka vode u podzemlje i kao posljedica toga do smanjivanja dotoka vode u izvor Omble. To se odrazilo na činjenicu da je prosječni protok iz prvog podrazdoblja (1962. - 1981.), koje odgovara prirodnom stanju, s $29,50 \text{ m}^3/\text{s}$, u drugom podrazdoblju (1982. - 2008.) pao na $22,88 \text{ m}^3/\text{s}$. U trećem podrazdoblju (2009.-2014.) u kojem se raspolaže samo sa šest godina ponovo se podigao na $30,58 \text{ m}^3/\text{s}$. Koji je razlog tako nagloj promjeni? Da li se radi o prirodnim klimatskim fluktuacijama ili o utjecaju rada čovjeka (npr. pogon PHE Čapljina ili brojnih radova u tzv. gornjim horizontima sliva) teško će (ako će uopće) biti moguće pouzdano utvrditi bez podataka o protocima Omble u razdoblju poslije 2014.

3.2. Temperatura zraka

Slika 4a prikazuje niz srednjih godišnjih temperatura zraka Dubrovnika opaženih u razdoblju od 1961. do 2021. Uočljiv je trend porasta temperatura tijekom analiziranog razdoblja. Međutim, on očito nije linearan već se odvija parabolično što se može uočiti iz grafičkog prikaza. Primjenom RAPS metode utvrđeno je da postoje dva podrazdoblja s bitno različitim ponašanjima srednjih godišnjih temperatura. Prikaz je dat na slici 4b. U prvom podrazdoblju 1961. - 1991. trend je čak blago opadajući, a prosječna temperatura iznosi $16,27 \text{ }^\circ\text{C}$. U drugom podrazdoblju, onom recentnom, koje obuhvaća period od 1992. do 2021. trend porasta temperatura zraka izrazito je snažan te iznosi prosječno



Slika 4: Niz godišnjih temperatura zraka Dubrovnika, TZ, u razdoblju 1961.-2021. (slika 4a) i dva podniza godišnjih temperatura zraka Dubrovnika u podrazdobljima: 1961.-1991.; 1992.- 2021. (slika 4b)

0,476 °C na 10 godina. Prosječna godišnja temperatura u drugom podrazdoblju je za 0,94 °C viša nego u prvom te iznosi 17,21 °C. Testiranje F testom je ukazalo da se varijance ova dva podniza statistički značajno ne razlikuju. Testiranje t-testom prosječnih vrijednosti dalo je suprotan zaključak, tj. one se statistički značajno razlikuju na nivou, $p < 0,01$.

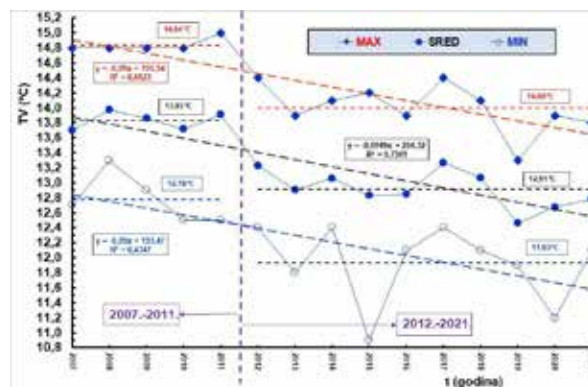
Treba napomenuti da temperatura zraka opažena na postaji Dubrovnik nije zasigurno najreprezentativnija što se sliva izvora Omble tiče, ali je snažan pokazatelj procesa koji se unutar njega odvijaju. Očigledno je da se proces globalnog zagrijavanja intenzivira te da će on vrlo vjerojatno imati sve snažniji utjecaj na hidrološke procese u široj regiji pa prema tome i u slivu izvora Omble.

3.3. Temperatura vode

Korištenje podataka o temperaturi vode krških izvora osobito je značajno jer pruža mogućnost suptilnih analiza procesa koji se odvijaju u kompleksnim krškim vodonosnicima. Temperatura podzemne vode koja na površinu izbija iz krškog izvora pod utjecajem je različitih činioca kao što su: (1) temperatura zraka područja napajanja podzemnih voda; (2) miješanja voda iz različitih dijelova površinskog i podzemnog sliva; (3) utjecaja geotermalnog gradijenta; (4) geoloških, hidrogeoloških i litoloških svojstava vodonosnika i sliva itd. Long i Gilcrease (2009.) ukazuju na činjenicu visoke preciznosti mjerenja temperature vode (greška je manja od $\pm 0,03$ °C), što je znatno veća preciznost od mjerenja ostalih parametara kao npr. onih kemijskih.

Brojni parametri utječu na distribuciju i varijabilnost temperature vode unutar prostora krškog vodonosnika, ali i tijekom vremena. Nastavno se navode neki od njih: (1) dubina zasićene zone; (2) brzina kretanja vode; (3) efekt viskoznosti i gustoće; (4) specifična toplina stijenske mase vodonosnika itd. Temperatura vode krških izvora, koji predstavljaju izlaznu točku iz vodonosnika, vrlo je pouzdan prirodni traser. Analiza propagacija temperaturnih signala kroz podzemni sustav svakog krškog vodonosnika omogućava otkrivanje njegove složene strukture (npr. Dogwiler i Wicks 2005; Genthon i sur. 2005; O'Driscoll i De Walle 2006; Kogovšek i Petrič 2010; Stroj i sur, 2020; Shah i sur, 2022. itd.). Mjerenjem i analizom temperature vode izvora Renner i Sauter (1997.) su otkrili karakteristike mreže provodnika krškog vodonosnika.

Temperatura podzemne vode je interaktivni traser čija se vrijednost brzo mijenja u situacijama kad voda i okolni vodonosnik imaju različite temperature. Temperatura vode koja istječe iz krških izvora integrira utjecaje površinskih i podzemnih okoliša kroz koje se kreće i u kojima se zadržava. Zbog toga je analizom njenih varijacija u prostoru i vremenu moguće pouzdano procijeniti odakle potječe te koliko se zadržava u podzemlju. Ravnik i Rajver (1998.) su koristeći inverzne geoterme odredili podzemno tečenje u slivu izvora Omble.



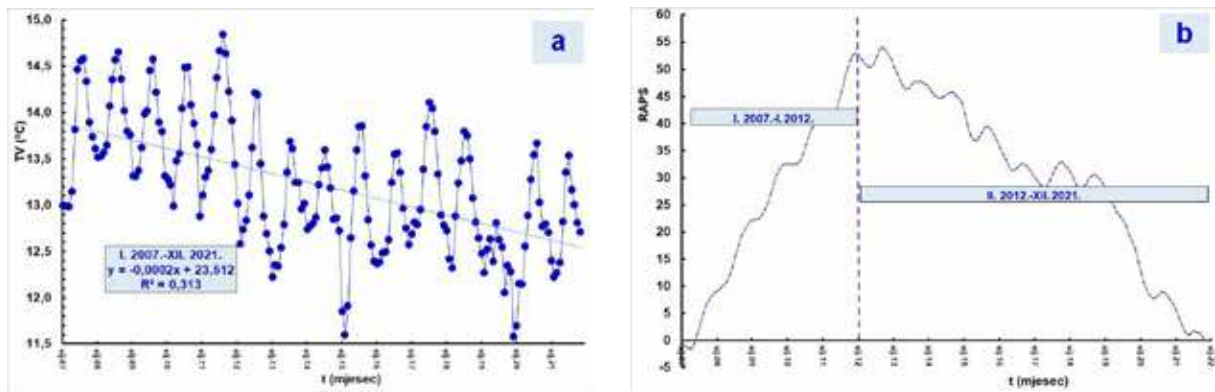
Slika 5: Nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih temperatura vode izvora Omble, TV, izmjereni u razdoblju 2007.-2021.

3.3.1. Godišnja skala

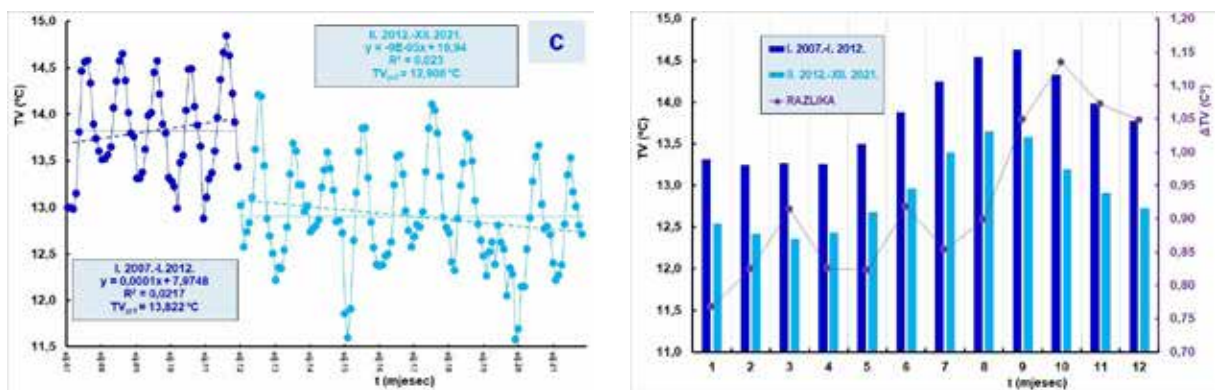
Na **slici 5** prikazani su nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) temperatura vode izvora Omble u razdoblju 2007.-2021. Najveća opažena temperatura iznosila je 15,0 °C, a najmanja 10,9 °C. Pravci regresije ukazuju na značajni trend opadanja sva tri analizirana niza. Kad se detaljnije pogleda **slika 5**, uočava se da se ne radi o trendu opadanja nego o tome da je 2012. došlo do naglog pada temperatura vode. Zbog toga su na slici ucrtane linije i upisane prosječne vrijednosti temperature vode u sljedeća dva podrazdoblja: (1) 2007. - 2011.; (2) 2012. - 2021. U slučaju sva tri analizirana niza, testiranje t-testom je pokazalo statistički značajnu razliku prosječnih vrijednosti između spomenuta dva podrazdoblja na razini $p < 0,01$. Kod maksimalnih godišnjih temperatura vode razlika je iznosila 0,84 °C, kod srednjih godišnjih temperatura 0,92 °C, a kod minimalnih godišnjih temperatura vode bila je 0,85 °C. Pošto je vremenska skala godine prevelika za donošenje detaljnijih zaključaka o ponašanju temperatura vode tijekom vremena nastavno će se analize vršiti u kraćim vremenskim skalama.

3.3.2. Mjesečna skala

Skraćujući vremensku skalu analize podataka temperatura vode pokušat će se preciznije definirati vrijeme kada je došlo do naglog pada temperature vode izvora Omble. Niz srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble, TV, u razdoblju siječanj 2007. - prosinac 2021. prikazan je na **slici 6a**. Da bi se odredio mjesec kada je došlo do nagle promjene temperature koristila se RAPS metoda čiji je rezultat grafički prikazan na **slici 6b**. Iz toga se prikaza uočava da je nagli pad temperatura vode započeo u veljači 2012. Na **slici 6c** prikazana su dva podniza srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble u podrazdobljima: (1) siječanj 2007. - siječanj 2012.; (2) veljača 2012. - prosinac 2021. Prosječna vrijednost u prvom podnizu iznosila je 13,822 °C, dok je u drugom podnizu pala za 0,916 °C te je iznosila 12,096 °C. Testiranje F-testom ukazalo je da se varijance ne razlikuju statistički značajno. Međutim, t-test je ukazao da se prosječne vrijednosti podnizova međusobno statistički značajno



Slika 6: Niz srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble, TV, u razdoblju siječanj 2007.-prosinac 2021. (slika 6a), RAPS za prethodni niz (slika 6b) i dva podniza srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble, TV, u podrazdobljima: siječanj 2007.-siječanj 2012.; veljača 2012.-prosinac 2021. (slika 4c)



Slika 6c: Dva podniza srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble, TV, u podrazdobljima: siječanj 2007.-siječanj 2012.; veljača 2012.-prosinac 2021.

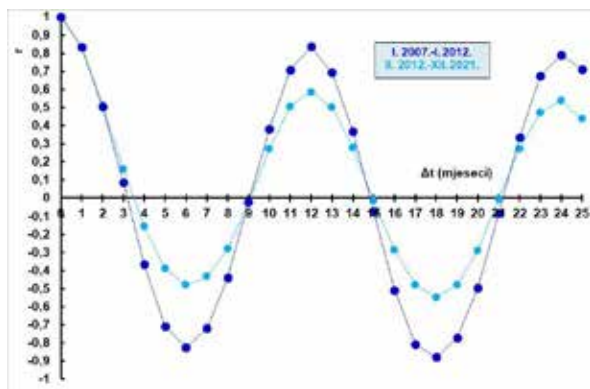
Slika 7: Histogrami prosječnih mjesečnih temperatura vode izvora Omble, TV, izračunatih za dva prethodna podniza određena RAPS metodom. Razlika između prosječnih mjesečnih vrijednosti ova dva podniza, ΔTV , ucrtana je točkama spojenim ljubičastim linijama.

razlikuju na razini $p < 0,01$.

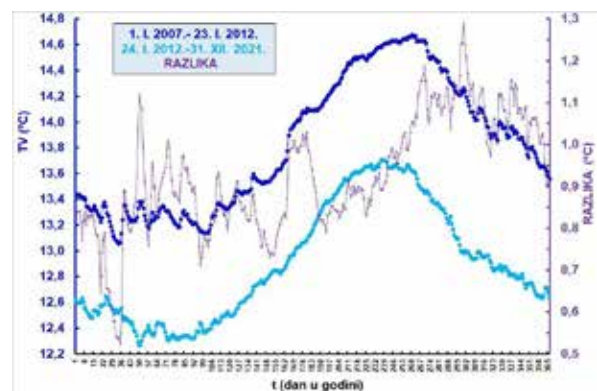
Slika 7 predstavlja histograme prosječnih srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble izračunatih za dva prethodna podrazdoblja određena RAPS metodom. Razlika između prosječnih mjesečnih vrijednosti ova dva podniza, ΔTV , ucrtana je točkama spojenim ljubičastim linijama. Treba uočiti da su u prvom podrazdoblju maksimalne temperature bile u rujnu dok su se u drugom podrazdoblju pojavile nešto ranije u kolovozu. Minimalne prosječne temperature vode u prvom podrazdoblju pojavile su se u veljači dok su se u drugom podrazdoblju pojavile mjesec dana kasnije u ožujku. Najveća razlika prosječnih mjesečnih

temperatura između dva podrazdoblja javila se u listopadu kad iznosi $1,13^\circ\text{C}$, dok je najmanja razlika opažena u siječnju kada je iznosila $0,77^\circ\text{C}$.

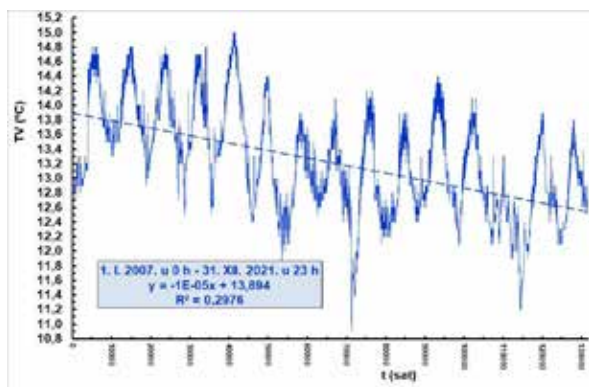
Slika 8 prikazuje autokorelograme dva podniza srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble definirana RAPS metodom. U oba podrazdoblja uočava se snažan utjecaj sezonalnosti. Međutim, treba uočiti da je unutarnja povezanost podataka značajnije izražena u prvom podrazdoblju od siječnja 2007. do siječnja



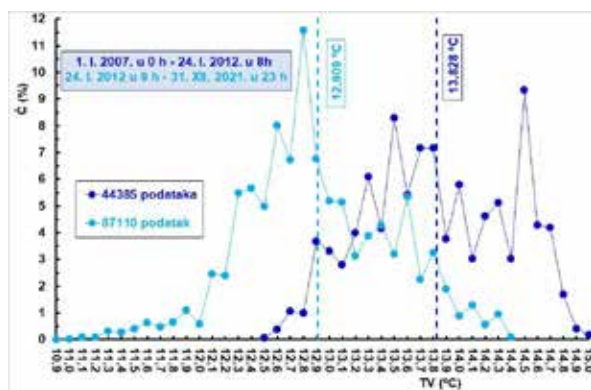
Slika 8: Autokorelogrami dva podniza srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble definirana RAPS metodom



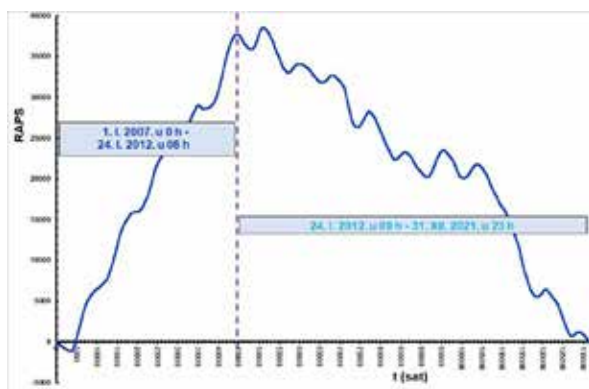
Slika 9: Vremenske serije prosječnih srednjih dnevnih temperatura vode izvora Omble u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 2007.-23. siječnja 2012.; (2) 24. siječnja 2012.-31. prosinca 2021. Razlika između prosječnih dnevnih vrijednosti ova dva podniza ucrtana je točkama spojenim ljubičastim linijama.



Slika 10: Niz satnih temperatura vode izvora Omble, TV, u razdoblju 1. siječnja 2007. u 0 h - 31. prosinca 2021. u 23 h



Slika 13: Grafički prikaz čestina pojave pojedinih satnih vrijednosti temperatura vode izvora Omble, Č, izraženih u postocima u dva podrazdoblja određena RAPS metodom na slici 11

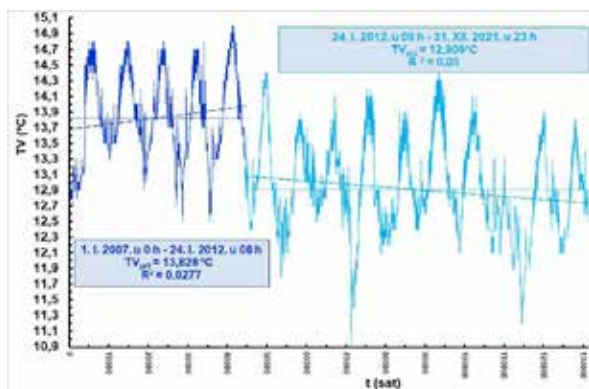


Slika 11: RAPS za niz satnih temperatura vode izvora Omble u razdoblju 1. siječnja 2007. u 0 h - 31. prosinca 2021. u 23 h

2012. nego u drugom podrazdoblju od veljače 2012. do prosinca 2021.

3.3.3. Dnevna skala

Na [slici 9](#) ucrtani su vremenski nizovi prosječnih srednjih dnevnih temperatura vode izvora Omble u dva podrazdoblja: (1) 1. siječnja 2007. - 23. siječnja 2012.; (2) 24. siječnja 2012. - 31. prosinca 2021. Razlika između prosječnih dnevnih vrijednosti ova dva podniza ucrtana je točkama spojenim ljubičastim linijama. Maksimalna vrijednost prosječne srednje dnevne temperature vode u prvom podrazdoblju pojavila se 11. rujna dok



Slika 12: Dva podniza satnih temperatura vode izvora Omble, TV, u podrazdobljima određenim RAPS metodom na slici 11

se u drugom podrazdoblju pojavila 17 dana ranije 25. kolovoza. Najveće razlike se javljaju u listopadu i studenom, a najmanje u siječnju.

3.3.4. Satna skala

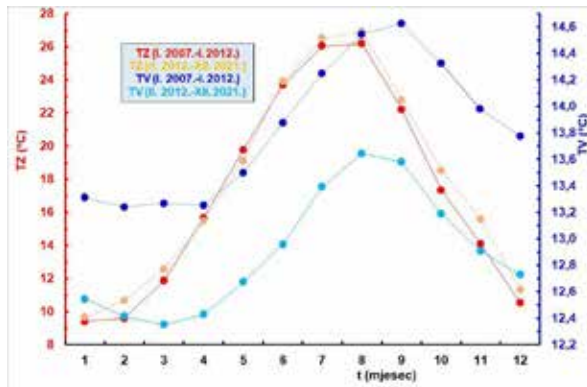
Niz satnih temperatura vode izvora Omble u razdoblju 1. siječnja 2007. u 0 h - 31. prosinca 2021. u 23 h, je ucrtan na [slici 10](#). Da bi se odredio sat kada je došlo do nagle promjene temperature koristila se RAPS metoda čiji je grafički prikaz dan na [slici 11](#). Iz toga se prikaza uočava da je nagli pad temperatura vode započeo 24. siječnja 2012. u 9 sati. Na [slici 12](#) prikazana su dva podniza srednjih mjesečnih temperatura vode izvora Omble u podrazdobljima: (1) 1. siječnja 2007. u 0 sati - 24. siječnja 2012. u 8 sati; (2) 24. siječnja 2012. - 31. prosinca 2021. u 23 sata. Prosječna vrijednost u prvom podnizu iznosila je 13,828 °C, dok je u drugom podnizu pala za 0,919 °C te je iznosila 12,909 °C. Testiranje F-testom ukazalo je da se varijance ne razlikuju statistički značajno. Međutim, t-test je pokazao da se prosječne vrijednosti podnizova međusobno statistički značajno razlikuju na razini $p < 0,01$. Važno je uočiti da se u prvom podrazdoblju javio blagi porast dok se u drugom podrazdoblju javlja blago opadanje vrijednosti satnih temperatura vode.

Grafički prikaz čestina pojave pojedinih satnih vrijednosti temperatura vode izvora Omble izražen u postocima od ukupnog broja satnih podataka u pojedinom podrazdoblju, izraženih u postocima u dva podrazdoblja, je prikazan na [slici 13](#). U prvom podrazdoblju temperature vode se kreću u rasponu od 12,5 °C do 15,0 °C, dok se u drugom podrazdoblju kreću u rasponu od 10,9 °C do 14,4 °C.

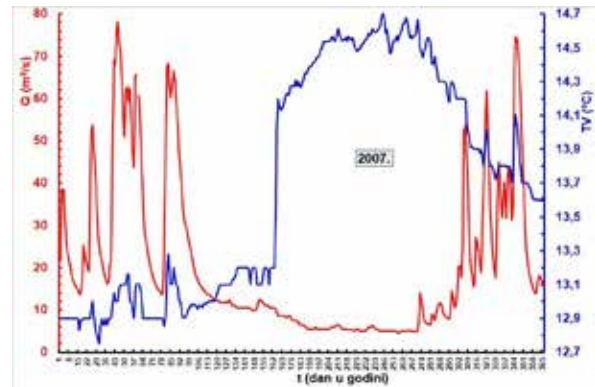
3.4. Analiza odnosa temperature vode s temperaturama zraka i protocima izvora

Na osnovi prethodno izvršenih analiza moguće je uočiti sezonski karakter promjene temperature vode izvora Omble. U okviru ovog poglavlja pokušat će se detaljnije obrazložiti odnos između temperature zraka, protoka izvora i temperature vode izvora Omble.

Odnos između temperature vode izvora i temperature zraka tretiran je u nizu članaka (npr.

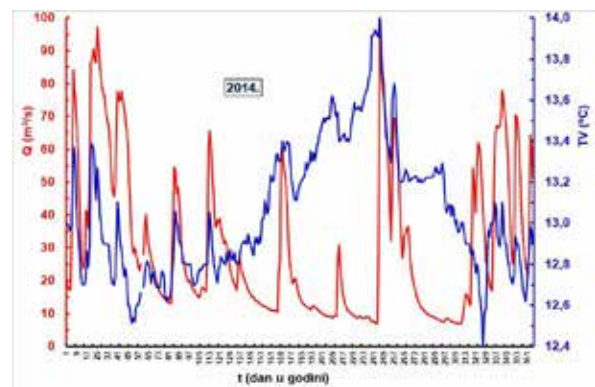


Slika 14: Prikazi prosječnih mjesečnih temperatura zraka, TZ, Dubrovnik i temperatura vode, TV, izvora Omble u dva podrazdoblja određena RAPS metodom prikazanom na slici 6b



Slika 16: Nizovi srednjih dnevnih protoka, Q, i temperatura vode, TV, izvora Omble tijekom 2007. godine

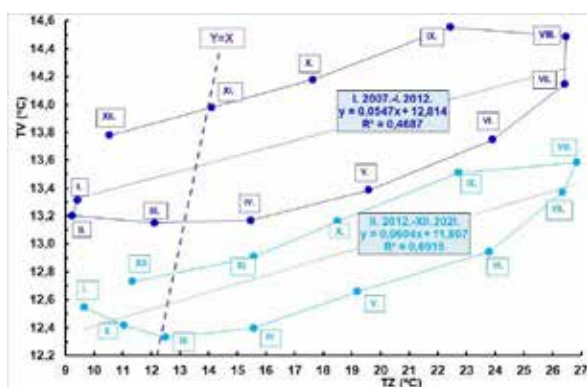
O'Driscoll i De Walle 2006; Joodi 2012 itd.). U krškom vodonosniku temperaturni signal ima značajnu ulogu jer se u njemu odražava interna struktura vodonosnika. Što se vodonosnika Omble tiče treba naglasiti da je zalijeganje podzemne vode duboko ispod površine, prosječno znatno više od 100 m, što značajno utječe na ublažavanje i kašnjenje utjecaja temperature zraka na temperaturu podzemne vode (Bonacci 1995). Utjecaj temperatura zraka na temperaturu podzemne vode reguliran je kompleksnim interakcijama kratkotrajnih i dugotrajnih meteoroloških uvjeta i sezonskih svojstava (Dogwiler i Wicks 2005). Površina sliva, iz kojeg se krški vodonosnik izvora Omble napaja, prostire se u velikom rasponu nadmorskih visina, više od 1000 mnm na sjeveru do nekoliko stotina mnm na jugu. Snažan utjecaj na temperaturu vode u pojedinim dijelovima ovog vodonosnika ovisi o tome da li se u njemu nalaze krški provodnici značajnih dimenzija kroz koje se odvija brzo turbulentno tečenje ili se radi o matrici krša kroz koju se odvija sporo difuzno tečenje. Kad s površine voda prodire u dio vodonosnika koji ima velike provodnike, izmjena topline bit će bitno snažnija i brža nego u slučaju kad se taj proces odvija u matrici. Voda ima tendenciju uspostavljanja ravnoteže s okolnim stijenama i sedimentima konduktivnim i advektivnim procesima. U kompleksnom (i nažalost



Slika 17: Nizovi srednjih dnevnih protoka, Q, i temperatura vode, TV, izvora Omble tijekom 2014. godine

nedovoljno istraženom) krškom vodonosniku izvora Omble na temperaturu vode značajnu ulogu vrše brojni hidrološko-hidrogeološki uvjeti. Dotok vode u vodonosnik Omble vrlo je složen i promjenjiv u prostoru i tijekom vremena. Istovremeno napajanje različitim karakteristikama vode odvija se iz različitih dijelova i s različitih nadmorskih visina tog prostranog sliva na kojem vladaju vrlo različite klimatske karakteristike.

Na slici 14 prikazane su prosječne mjesečne temperature zraka, TZ, Dubrovnik i temperatura vode, TV, izvora Omble u dva podrazdoblja određena RAPS metodom. Bitno je uočiti vremensko kašnjenje temperatura vode za temperaturama zraka. U tablici 1 su upisane vrijednosti koeficijenata determinacije, R^2 , između nizova srednjih mjesečnih temperatura vode i temperatura zraka u tri različita razdoblja. U drugi stupac su unesene vrijednosti izračunate za odnos u istim mjesecima i, dok se u trećem stupcu nalaze vrijednosti za odnos između temperature vode u mjesecu i zavisnosti od temperature zraka u prethodnom mjesecu (i-1). Bitno je uočiti da su vrijednost, R^2 , značajno veće u slučaju kad se korelira odnos između temperature vode u mjesecu, i, i temperature zraka u prethodnom da je mjesecu, (i-1). Osim toga treba uočiti da su vrijednosti znatno veće u prvom podrazdoblju nego u drugom, što upućuje na zaključak da se u drugom podrazdoblju nešto promijenilo napajanjem krškog vodonosnika



Slika 15: Odnos između prosječnih mjesečnih temperatura vode, TV, izvora Omble i temperatura zraka Dubrovnik, TZ, u dva podrazdoblja određena RAPS metodom prikazanom na slici 6b

Tablica 1: Vrijednosti kvadrata koeficijenta linearne korelacije, R^2 , između nizova srednjih mjesečnih temperatura vode, TV, i temperatura zraka, TZ, u tri različita razdoblja

R^2	$TV_i - TZ_i$	$TV_i - TZ_{i-1}$
I. 2007. - XII. 2021.	0,233	0,374
I. 2007. - I. 2012.	0,460	0,832
II. 2012. - XII. 2021.	0,433	0,614

Ombles u odnosu na prvo podrazdoblje. Detaljnije se taj proces može pratiti na [slici 15](#) na kojoj su ucrtani odnosi između prosječnih mjesečnih temperatura vode izvora Ombles i temperatura zraka Dubrovnika u dva podrazdoblja određena RAPS metodom. Petlja za prvo podrazdoblje znatno je šira od one u drugom podrazdoblju.

Na [slici 16](#) prikazani su hidrografi srednjih dnevnih protoka i temperatura vode izvora Ombles tijekom 2007. godine, koja pripada prvom podrazdoblju, dok su na [slici 17](#) prikazani za 2014. godinu koja pripada drugom podrazdoblju. Moguće je uočiti da porastom protoka dolazi i do porasta temperature vode, ali da temperatura vode pokazuje značajan porast tijekom toplog dijela godine. Nažalost, zbog nedostatka dnevnih vrijednosti protoka izvora od 2015. do danas ovaj proces nije bilo moguće detaljnije izučiti i bolje razjasniti.

4. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNJE ANALIZE

Krški izvori na cijeloj planeti pružaju neprocjenjive koristi ljudima i okolišu (npr. Stevanović 2019; Shah i sur, 2022 itd.). Izvor Ombles spada u krške fenomene svjetske vrijednosti te kao takav zaslužuje mnogo bolju pažnju i tretman od one koja mu se upravo sada ukazuje. Problem je da se sliv njegovog vodonosnika pruža kroz dvije države što otežava nužne i čini se sve žurnije procese kontrole s ciljem osiguravanja njegovog dugoročnog održivog upravljanja i korištenja.

Analize izvršene u ovom radu dale su određena saznanja o ponašanju temperature vode izvora Ombles. One su otvorile neka nova pitanja na koja će žurno trebati odgovoriti. Prije svega se radi o neophodnosti da se objasni razlog zbog kojeg je došlo do naglog smanjivanja temperatura vode počevši od kraja siječnja 2012. do danas. Na osnovi podataka i informacija kojima

raspolažu autorima nije bilo moguće dati nikakav iole smislen i pouzdan odgovor. Općenito razmatrajući problematiku moguća su dva razloga za objašnjenje ove pojave. Moguće da je došlo do neke tehničke promjene u mjerenju temperature vode kao što je promjena mjernog uređaja ili njegovog položaja. Ako se o tome radi potrebno je ustanoviti zašto je došlo do tako drastičnog pada temperature vode. Neophodno je odgovoriti na pitanje koje su temperature vode izvora točne, one iz prvog ili one iz drugog podrazdoblja. Drugi razlog bi mogao biti vezan ili uz utjecaj potresa koji su česti u ovoj regiji ili uz masovne građevinske radove u slivu Ombles.

Provjerama je utvrđeno je da nije bilo nikakvih promjena ni mjernog uređaja za mjerenje temperature vode izvora niti njegovog položaja u razdoblju od instaliranja 2007. godine do danas. Kao logično objašnjenje za gotovo trenutačno snižavanje temperature vode ostaje da je došlo do stvaranja uvjeta za nagli i stalni prodor hladnije vode iz područja viših nadmorskih visina. Razlog bi mogao biti ili potres ili značajni građevinski radovi u slivu kao što su masovna miniranja za potrebe izgradnje tunela. Potresi su česti u toj regiji. Oni bi kao i masovno miniranje mogli uzrokovati trenutačno otvaranje nekih novih krških provodnika koji izravno hladniju podzemnu vodu iz gornjih horizonata brzo transportiraju u područje izvora. Ove pretpostavke tek treba detaljno istražiti i argumentirati.

Poseban problem je u činjenici da se ne određuju protoci izvora od 1. siječnja 2015. nadalje. Izgubljene informacije teško će biti nadoknaditi, ali ovakvo stanje je neophodno žurno izmijeniti. Nedopustivo je i neshvatljivo da se na tom važnom izvoru za vodoopskrbu Dubrovnika i jednom od najvažnijih i vjerojatno najizdašnjem izvoru Dinarskog krša više ne određuju/mjere ukupni protoci.

Zahvala

Ovaj rad je sufinanciran kroz projekt »VODIME - Vode Imotske krajine« (KK.05.1.1.02.0024), projekt financiran sredstvima Vlade Republike Hrvatske i sredstvima Europske unije kroz Europski strukturni fond, u sklopu poziva »Shema za jačanje primijenjenih istraživanja za mjere prilagodbe klimatskim promjenama«.

Ovo istraživanje je djelomično sufinancirano kroz

projekt KK.01.1.1.02.0027, koji je sufinanciran od strane Hrvatske Vlade i Europske Unije kroz "European Regional Development Fund - the Competitiveness and Cohesion Operational Programme." ■

LITERATURA

- Bonacci, O. 1987. *Karst hydrology with special references to Dinaric karst*. Springer Verlag, Berlin.
- Bonacci, O. 1995. Ground water behaviour in karst: example of the Ombla Spring (Croatia). *Journal of Hydrology*, 165(1-4), 113-134. DOI:10.1016/0022-1694(94)02577-X
- Bonacci, O. 2001. Analysis of the maximum discharge of karst springs. *Hydrogeology Journal*, 9(4), 328-338. DOI:10.1007/s100400100142
- Bonacci, O. 2015. Karst hydrogeology/hydrology of Dinaric chain and Isles. *Environmental Earth Sciences*, 74(1), 37-55. DOI:10.1007/s12665-014-3677-8
- Bonacci, O.; Fumet, M.; Šakić-Trogrlić, R. (2014.): Analiza vodnih resursa izvora Omble. *Hrvatske Vode*, 22(88), 107-118.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. 2018. Analyses of the Zagreb Grič observatory air temperatures indices for the period 1881 to 2017. *Acta Hydrotechnica*, 31(54), 67-85. DOI:10.15292/acta.hydro.2018.05
- Buljan, R.; Prelogović, E.; Paviša, T. 2000. Izvoriste Ombla. *Zbornik radova 2. hrvatskog geološkog kongresa* (ur. I. Vlahović; R. Biondić), 555-560, Institut za Geološka Istraživanja, Zagreb.
- Cvijić, J. 1893. Das Karstphänomen. Versuch einer morphologischen Monographie, *Geographischen Abhandlung*, Wien V(3), 218-329.
- Dogwiler, T.; Wicks, M. C. 2005. Thermal variations in the hyporheic zone of karst stream, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 3(1), 1-11. DOI:0.5038/1827-806X.35.2.1
- Garbrecht, J., Fernandez, G. P. 1994. Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin*, 30(2), 297-306. DOI:10.1111/j.1752-1688.1994.tb03292.x
- Genthon, P.; Bataille, A.; Fromant, A.; D'Hulst, D.; Bourges, F. 2005. Temperature as a marker for karstic waters hydrodynamics. Inferences from 1 year recording at La Peyrère cave (Ariège, France). *Journal of Hydrology*, 311(1-4), 157-171. DOI:10.1016/j.jhydrol.2005.01.015
- Joodi, A. S. (2012.): Modeling of the heating transfer in the karst aquifers for Val d'Orléans city (France). *Journal of Environmental Studies*, 9(1), 43- 51. DOI: 10.21608/JESJ.2012.191527
- Kogovšek, J.; Petrič, M. 2010. Water temperature as a natural tracer – a case study of the Malenščica karst spring (SW Slovenia). *Geologia Croatica*, 63(2), 171-177. DOI:104154/gc.2010.14
- Kranjc, A. 2004. Dinaric karst. *Encyclopedia of caves and karst science* (ur. J. Gunn), 591-594, Fitzroy Dearborn, New York.
- Kresic, N. 2023. *Hydrogeology 101*. Blue Ridge Press LLC, Warrenton, VA, USA.
- Long, A. J.; Gilcrease, P. G. 2009. A one-dimensional heat-transport model for conduit flow in karst aquifers. *Journal of Hydrology*, 378(3-4), 230-239. DOI:10.1016/j.jhydrol.2009.09.024
- McGhee, J.W. 1985. *Introductory statistics*. West Publishing Company, St Paul and New York.
- Milanovic, P. 1996. Ombla Spring, Croatia. *Environmental Geology*, 27(2), 105-107. DOI:10.1007/BF01061679
- Milanović, P.T. 2021. *Karst Istočne Hercegovine i dubrovačkog priobalja*. Bina, Banja Luka, Bosna i Hercegovina.
- O'Driscoll, M. A.; De Walle, D. R. 2006. Stream-air temperature relations to classify stream-ground water interactions in a karst setting, central Pennsylvania, USA. *Journal of Hydrology*, 329(1-2), 140-153. DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.02.010
- Paviša, T. 2015. Hidroelektrana Ombla projekt za energetske korištenje podzemnih voda u kršu i trajno očuvanje visoke kvalitete pitke vode. *Naše More*, 62(2), 78-91. DOI: 10.17818/NM/2015/2.13
- Paviša, T.; Sever, Z. 2015. Hidroelektrana Ombla - projekt za energetske iskorištenje podzemnih voda u kršu, *Građevinar*, 67(5), 471-483, DOI:10.14256/JCE.1377.2015
- Pavlič, I. 1962. *Matematička statistika (primjena u proizvodnji)*. Privreda, Zagreb.
- Ravnik, D.; Rajver, D. 1998. The use of inverse geotherms for determining underground water flow at the Ombla karst spring near Dubrovnik, Croatia. *Journal of Applied Geophysics*, 39(3), 177-190. DOI:10.1016/S0926-9851(98)00026-3
- Renner, S.; Sauter, M. 1997. Heat as a natural tracer: Characterisation of a conduit network in a karst aquifer using temperature measurements of the spring water. *Karst Waters & Environmental Impacts* (ur. G. Günay; I. Johnson), 423-431, Balkema, Rotterdam.
- Roglić, V. 1986. Socio-geografski aspekt dinarskog krša, dinarskog kulturnog areala i dinarskog brdsko-planinskog prostora (The socio-geographical aspect of the Dinaric Karst, the Dinaric cultural area and the Dinaric cultural

mountainous space). *Hrvatski Geografski Glasnik*, 38(1), 253-268. <https://hrcak.srce.hr/55934>.

Roje-Bonacci, T.; Bonacci, O. 2013. The possible negative consequences of underground dam and reservoir construction and operation in coastal karst areas: an example of the hydro-electric power plant (HEPP) Ombla near Dubrovnik (Croatia). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(8), 2041-2052. DOI:10.5194/nhess-13-2041-2013

Shah, R. A.; Jeelani, G.; Yadav, J. S.; Rai, S. K. 2022. Hydrogeochemical and stable isotopic evidence to different water origins of karst springs in the western

Himalayas, India. *Environmental Earth Sciences*, 81, 297. DOI:10.1007/s12665-022-10397-7

Stevanović, Z. 2019. Karst waters in potable water supply: a global scale overview. *Environmental Earth Sciences*, 78, 662. DOI:10.1007/s12665-019-8670-9

Stroj, A.; Briški, M.; Oštrić, M. 2020. Study of groundwater flow properties in a karst system by coupled analysis of diverse environmental tracers and discharge dynamics. *Water*, 12, 2442. DOI:10.3390/w12092442

Žugaj, R.; Andreić, Ž.; Pavlič, K.; Fuštar, L. 2011. Krivulje trajanja protoka, *Građevinar*, 63(12), 1061-1068.

NEW PROPOSALS FOR THE HYDROLOGY OF THE OMBLA KARST SPRING

Abstract. The Ombla karst spring is probably the most abundant karst spring in the Dinaric karst. The paper focuses on the analysis of its water temperature. Available data were those of hourly measurements in the period from January 1, 2007 at 0 a.m. to December 31, 2021 at 11 p.m. The analyses were conducted at different time scales (a year, month, day and hour). It was determined that there were two sub-periods within this period, with different characteristic water temperatures (minimum, average and maximum). In the first sub-period from January 1, 2007 at 0 a.m. to January 24, 2012 at 8 a.m., the values of minimum, average and maximum water temperatures were 12.5 °C, 13.83 °C and 15.0 °C, respectively. In the second sub-period from January 24, 2012 at 9 a.m. to December 31, 2021 at 11 p.m., there was a sudden drop in characteristic temperatures of 10.9 °C, 12.91 °C and 14.0 °C, respectively. We attempted to determine the reasons for these sudden changes, i.e. a drop of about 1 °C by comparing them with air temperatures measured at the Dubrovnik station and the Ombla spring discharges. Unfortunately, the Ombla spring discharges have not been measured since January 1, 2015 onward. It was determined that the water temperatures reacted to air temperatures with approximately 1-month delay. Due to enormous importance of this karst spring, it is necessary to determine the reasons that lead to the sudden drop in the water temperatures at the end of January 2012.

Key Words: karst spring, discharge, air temperature, water temperature, Ombla spring

NEUE BEITRÄGE ZUR HYDROLOGIE DER OMBLA-KARSTQUELLE

Zusammenfassung. Die Ombla-Karstquelle ist wahrscheinlich die größte Quelle im Dinarischen Karst. In diesem Beitrag liegt der Schwerpunkt auf der Analyse der Wassertemperatur. Für den Zeitraum vom 1. Januar 2007, 0:00 Uhr, bis 31. Dezember 2021, 23:00 Uhr, standen stündliche Messdaten zur Verfügung, die auf verschiedenen Zeitskalen von Jahr zu Monat und von Tag zu Stunde durchgeführt wurden. Es wurde festgestellt, dass innerhalb dieses Zeitraums zwei Teilperioden mit unterschiedlichen charakteristischen (minimalen, durchschnittlichen und maximalen) Wassertemperaturen auftreten. Im ersten Teilzeitraum, der vom 1. Januar 2007 um 0 Uhr morgens bis zum 24. Januar 2012 um 8 Uhr morgens dauerte, betragen die minimalen, durchschnittlichen und maximalen Wassertemperaturwerte 12,5 °C, 13,83 °C und 15,0 °C. Im zweiten Teilzeitraum (24. Januar 2012, 9:00 Uhr bis 31. Dezember 2021, 23:00 Uhr) kam es zu einem starken Rückgang der charakteristischen Temperaturen: 10,9 °C, 12,91 °C und 14,0 °C. Die Gründe für eine solche plötzliche Änderung, d. h. einen Rückgang um etwa 1 °C, wurden durch Vergleiche mit der an der Station Dubrovnik gemessenen Lufttemperatur und der Strömung der Ombla-Quelle ermittelt. Leider wird ab dem 1. Januar 2015 die Abflussmenge der Ombla-Quelle nicht mehr erfasst. Es wurde festgestellt, dass die Wassertemperatur mit einer Verzögerung von etwa einem Monat auf die Lufttemperatur reagiert. Aufgrund der enormen Bedeutung dieser Karstquelle ist es notwendig, die Gründe zu ermitteln, die zu der plötzlichen Änderung der Wassertemperatur Ende Januar 2012 führten.

Schlüsselwörter: Karstquelle, Abflussmenge, Lufttemperatur, Wassertemperatur, Ombla-Quelle