

Vodoopskrbni izazovi hrvatskih otoka u uvjetima klimatskih promjena i turističkog rasta

Hrvoje Grofelnik ^{1*}, Mladen Maradin ²

¹ Sveučilište u Rijeci, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu, 51414 Opatija, Hrvatska, hrvoje.grofelnik@fthm.hr, orcid.org/0000-0002-2796-8316

² Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, mma-radin@geog.pmf.hr, orcid.org/0000-0003-0546-9660

* Dopisni autor

DOI: 10.15291/geoadria.4242

Izvorni znanstveni rad / *Original scientific paper*

Primljeno / Received: 19-5-2023

Prihvaćeno / Accepted: 17-10-2023



Autori zadržavaju autorska prava nad svojim radom i pravom na objavljivanje bez ograničenja. Rad se licencira pod CC BY licencom što znači da članci mogu biti ponovno korišteni i distribuirani bez ograničenja dokle god je izvorni sadržaj ispravno citiran.

U radu se na temelju analize vodoopskrbe, turističkog prometa i klimatskih parametara procjenjuje održivost i mogućnosti prilagodbe vodoopskrbnog sustava u budućnosti s obzirom na istodobnost vršnih opterećenja sustava sa sušnim razdobljima u topлом dijelu godine. Istraživanjem su obuhvaćeni otoci sjevernog i srednjeg dijela Jadranskoga mora (Hrvatska), primjeri otoka s Cfa i Csa klimom uz značajne razlike u resursnom oslanjanju na otočne i obalne vodne resurse. S obzirom na to da dosadašnja klimatološka istraživanja upućuju na porast proljetnih i ljetnih temperatura na hrvatskoj obali te prostorne i sezonske promjene količine padalina uz njihovo smanjenje tijekom ljetnih mjeseci, u radu se opisuju mogućnosti prilagodbe trenutačnih, ali i alternativnih izvora prihrane vodoopskrbnih sustava na otocima.

Ključne riječi: održivost, otoci, vodoopskrba, klimatske promjene, turizam, Jadransko more

1. UVOD

Održiva vodoopskrba je od civilizacijskih početaka do danas bila i ostala jedan od temeljnih ograničavajućih razvojnih preduvjeta na koji se oslanja svakodnevni život i gospodarstvo lokalnih zajednica. To posebno dolazi do izražaja kod geografski izoliranih cijelina kao što su otoci, koji pokazuju različite načine prilagodbe lokalnih zajednica, često u uvjetima ograničenih prirodnih resursa kao što je dostupna pitka voda. U kontekstu sve izraženijih suvremenih klimatskih promjena i porasta turističke opterećenosti otoka, nameće se pitanje otpornosti otočnih vodoopskrbnih sustava u izglednim scenarijima sve većih vodoopskrbnih zahtjeva sa sve manjim resursnim osloncem.

Ovo istraživanje nastavlja se na niz do sada provedenih istraživanja koja su prepoznala problematiku održivosti vodoopskrbe na hrvatskim otocima, koji su sezonski pod značajnijim opterećenjem zbog maksimuma ljetne turističke sezone, istodobnog porasta broja vikendaša na otocima i trenda porasta visokih temperatura te sve češćih sušnih razdoblja. Problematikom održive vodoopskrbe na jadranskim otocima bave se znanstvenici iz više polja te ova tema privlači interes ne samo hrvatske već i međunarodne znanstvene zajednice. Među radovima koji razmatraju problematiku vezanu uz održivost vodoopskrbe na hrvatskim otocima, ističući njihove krške hidrogeološke specifičnosti, a u kontekstu turizma i klimatskih promjena izdvajaju sljedeći radovi: Bagarić i sur. (1997), Bonacci i Roje-Bonacci (2004), Grofelnik (2017), Lukač Reberski i sur. (2020), Luttenberger (2013), Margeta (2022), Muselli i sur. (2009), Patekar i sur. (2022), Slavuj i sur. (2009), Terzić (2004), Terzić (2022b), Terzić i Marković (2010), Tomas i Blaž (2022), Turk (1989) i Vlašić (2022).

Navedeni radovi upućuju na to da turistički atraktivan prostor jadranskih otoka nije homogenih obilježja što se tiče održivosti vodoopskrbe već se vidljive razlike koje se u ovom istraživanju analiziraju te su pružaju prijedlozi za poboljšanje održivosti vodoopskrbe u kontekstu suvremenih povećanih pritisaka na vodoopskrbne sustave.

Cilj ovoga rada je prikazati mogućnosti prilagodbe i povećanja otpornosti otočnih vodoopskrbnih sustava u uvjetima rastućih zahtjeva s obzirom na raspoložive vodne resurse, postojjeću infrastrukturu te turistički rast, energetsku krizu i utjecaj klimatskih promjena.

Radi postizanja zadanog cilja istraživanja, postavljeno je osnovno istraživačko pitanje koje je dalje razrađeno utvrđivanjem zadatka nižeg reda. Osnovno istraživačko pitanje na koje ovaj rad odgovara glasi: Na koje se razlike u održivosti otočnih vodoopskrbnih sustava oslanja lokalna zajednica i turizam hrvatskih otoka te koje su mogućnosti održivosti i prilagodbe

budućim izazovima vodoopskrbe? Kako bi se odgovorilo na zadano pitanje, u istraživanju se pristupilo utvrđivanju: specifičnih razlika između otoka Jadranskoga mora s obzirom na klimatska obilježja i klimatske promjene, razlika u turističkom opterećenju vodoopskrbnog sustava, mogućnostima održivosti i prilagodbe postojećeg vodoopskrbnog sustava te mogućnostima alternativne vodoopskrbe koje utječu na buduću održivost i razvoja otoka.

Svrha utvrđivanja specifičnosti, razlika i mogućnosti djelovanja u vezi s održivosti vodoopskrbnih sustava na hrvatskim otocima je doprinos u oblikovanju intervencija planske dokumente i konkretne projekte koji bi u budućnosti mogli pridonijeti otpornosti otočnih zajednica na izazove koje donose klimatske promjene s istodobnim izglednim povećanjem potrošnje vode za potrebe turizma.

Za studiju slučaja ispitivanja odnosa klimatskih promjena, turističkog opterećenja i alternativnih mogućnosti vodoopskrbe s ciljem povećanja samodostatnosti otočnih zajednica uzeta su četiri hrvatska otoka. Analizirane su različitosti trenutačne situacije, ali i budućih promjena što se tiče vodoopskrbe na otocima te su uzeta dva para otoka u dva različita klimatska područja na Jadranu. Parovi otoka odabrani su tako da jedan od otoka ima vodoopskrbni sustav vezan za kopno, a drugi vodoopskrbni sustav otoka oslonjen je na vodne resurse otočnog prostora te su u obzir uzeti i različiti klimatski uvjeti koji imaju utjecaj na vodoopskrbu. Iz područja Cfa klime uzeti su otoci Rab te Cres i Lošinj (Cres i Lošinj čine jedinstven vodoopskrbni sustav), a iz područja Csa klime otoci Brač i Vis.

Tablica 1. Površina i broj stanovnika otoka za razdoblje 2015. – 2020. godine
Table 1 Areas and number of inhabitants of the island for the period 2015-2020

Jedinice lokalne samouprave / Local Administrative Units	Površina / Area (km ²)	Procjena broja stanovnika sredinom godine / Estimated Number of Inhabitants in the Middle of the Year					
		2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
Otoci / the Islands of Cres and Lošinj	480,1	11084	11018	10889	10812	10783	10858
Otok / the Island of Rab	86,1	9420	9315	9234	9207	9125	9145
Otok / the Island of Brač	395,4	14608	14548	14519	14648	14790	14818
Otok / the Island of Vis	89,7	3559	3528	3546	3536	3552	3575

Izvor / Source: Državni zavod za statistiku (2023); Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije (2021)

Otocи Cres, Lošinj, Rab, Brač i Vis dio su šire cjeline jadranske karbonatne platforme te dijele slična obilježja osnovne geološke građe koja presudno utječu na krška obilježja otoka,

što pak uzrokuje relativno oskudne lokalne potencijale za vodoopskrbu. Na području proučavanih otoka zbog izraženih vapnenačkih krških poroznih i propusnih obilježja podloge nema stalnih površinskih vodenih tokova. Vrlo brzo nakon kontakta s krškom podlogom, padaline se u potpunosti infiltriraju u podzemlje (Terzić i sur., 2022b). Površinski bujični kraći tokovi formiraju se isključivo za obilnih padalina. Na otocima je značajna i pojava lokvi koje su nekada bile presudne za održavanje tradicionalnog stočarstva, dok danas predstavljaju oaze bioraznolikosti i podržavaju biokapacitet otoka. Slatkovodne lokve na otocima prirodno su pre-disponirane udubine u krškom reljefu koje su često bile modificirane antropogenim utjecajem kako bi u njima voda bila dostupna cijele godine.

Otoci imaju uslojenu do djelomično ljskavu geološku strukturu koju čine dominantno vapnenačke naslage kredne i kvartarne starosti na kojima je razvijen krški reljef. Na otocima se može pratiti blago izvijanje struktura koje ugrubo prate obalu odnosno dinarski smjer pružanja sjeverozapad-jugoistok. Stijene su gotovo isključivo iz sedimentne skupine s iznimkom manjih pojava vulkanskih stijena na otoku Visu oko Komiže (Terzić i sur., 2022a). U kontekstu vodoopskrbe važne su i manje pojave paleogenskih flišnih naslaga (posebice na području Lopara na otoku Rabu) koje omogućuju lokalnu vodoopravljivost i pojavu manjih izvora slatke vode koji se koriste za potrebe vodoopskrbe.

Jedina stalna veća površinska pojava vode na istraživanom području je Vransko jezero čija se voda koristi u vodoopskrbi Cresa i Lošinja. Vransko jezero na otoku Cresu ima volumen 220 milijuna m³ vode visoke kakvoće. Jezero je kriptodepresija površine 5,75 km² i volumena oko 220 milijuna m³. Praćenjem razine vode u jezeru 1980-ih ustanovilo se da povećano crpljenje vode, posebice tijekom ljetne turističke sezone, izaziva snižavanje njegove razine te se istražuju uzroci i posljedice ove pojave. Istraživanjima (Biondić i sur., 1995; Bonacci, 1995; Ožanić & Rubinić, 1998) je ustanovljeno da prosječna godišnja količina padalina na slivu Vranskog jezera iznosi 1068 mm, prosječna godišnja količina isparavanja s površine jezera 1153 mm, a godišnja količina crpljene vode iz jezera nešto više od 2 milijuna m³. Bilanca ovih brojki govori o očitoj ranjivosti jezera u sezonskim ljetnim povećanim količinama crpljenja vode te o prihrani jezera vodom iz podzemlja koje može biti izloženo zaslanjenju. Održivost vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja iz Vranskog jezera potrebno je sustavno i kontinuirano pratiti da ne bi došlo do zaslanjivanja vodonosnika i jezera (Grofelnik, 2017; Ožanić & Rubinić, 1998).

Klimatska obilježja odabranih otoka upućuju na složenost utjecaja klime na vodoopskrbu, a jedno od osnovnih obilježja je izražena ljetna sušnost koja prema jugu Jadranskog mora sve

više dolazi do izražaja. Posebno se to očituje na pučinskim srednjodalmatinskim i južnodalmatinskim otocima gdje se u pojedinim godinama može dogoditi da jedan ili dva ljetna mjeseca budu bez padalina. U takvim uvjetima i relativno male opažene klimatske promjene mogu imati veliki utjecaj na vodnu bilancu što se odražava na raspoloživost vode ljeti. Do sada su utvrđeni trendovi porasta temperature, posebno ljeti, dok promjena količine padalina nije prostorno jednoznačna iako većina istraživanja pokazuje smanjenje količine padalina u toploj dijelu godine na najvećem dijelu obale (MZOE, 2023). Ova istraživanja podudaraju se sa sličnim istraživanjima za područje Mediterana koje navode osušenje i regije kao jednog od izazovnijih okolišnih problema toga dijela svijeta (Guemas i sur., 2015; Iglesias i sur., 2007; Norrant & Douguédroit, 2006; Seager i sur., 2014). Scenariji klimatskih promjena IPCC-a ističu nastavak sličnih trendova do kraja 21. stoljeća (Lee i sur., 2021). Očekuje se daljnji porast temperature, pogotovo na južnom dijelu Jadranskog mora, dok signal promjene padalina nije tako jasan iako većina scenarija promjena klime upućuje na smanjenje količine padalina u ljetnim mjesecima (Güttler i sur., 2020; MZOE, 2023).

Godišnji hod zahtjevnosti po vodoopskrbni sustav hrvatskih otoka nije jednoličan već je za održivost vodoopskrbnog sustava poseban izazov sezonalnost turizma (ljetni maksimumi turističkog prometa) koji se podudara s klimatski sušnim ljetnim razdobljem (mediteranske ljetne suše). Također, vidljiv je trend kvantitativnog porasta turističkog prometa koji će u bliskoj budućnosti izgledno povećati potrebe za vodom ljeti i sušne sezone, koje bi s klimatskim trendovima trebale predstavljati još veći izazov za otočnu vodoopskrbu (Bonacci i sur., 2012). Uz navedeno, potreba za pitkom vodom na otocima sve je izraženija i kvalitativnim razvojem turističkih usluga viših dodanih vrijednosti koje uključuju bazensku infrastrukturu, wellness sadržaje i slično (Grofelnik, 2017). Stoga je u kontekstu održivog razvoja te osjetljivosti otočnih prostora na okolišne i društvene pritiske, osim trenutačnih, potrebno predviđati i procese i okolnosti koje mogu utjecati na otočne vodoopskrbne sustave. Ne smije se zanemariti i trend povećanja cijena energije koja utječe na cijenu crpljenja, obrade, skladištenja i transporta vode, posebice na veće udaljenosti, što povećava troškove gradnje i održavanja sustava te je u tom aspektu potrebno promišljati alternativne, održivije, ekonomski isplativije i otpornije otočne vodoopskrbne sustave.

2. PODACI, METODE I PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANJA

U kontekstu ovoga rada, koji se bavi vodom kao osnovnim resursom za svakodnevne potrebe ljudi i funkcioniranje gospodarstva, razmatraju se pokazatelji potrošnje pitke vode iz prirodnih površinskih ili podzemnih izvora (plava voda).

Za potrebe rada pregledane su sekundarne baze podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda, Državnog zavoda za statistiku i lokalnih turističkih zajednica te su u izravnom kontaktu s komunalnim vodoopskrbnim tvrtkama izdvojenih hrvatskih otoka prikupljeni podaci o vodoopskrbi i vodoopskrbnim infrastrukturnim sustavima (otoci: Cres, Lošinj, Rab, Brač i Vis). Dobiveni podaci obrađeni su i analizirani te su poslužili za korelaciju i dobivanje relevantnih zaključaka. Prosječni godišnji hod kretanja vrijednosti potrošene vode na otocima dobiven je na šestogodišnjem nizu podataka za razdoblje od 2015. do 2020. godine te su za isto razdoblje korelirani podaci o kretanju turističkih noćenja na otocima.

Za analizu utjecaja klime na vodoopskrbni sustav odabranih otoka uzeti su podaci o temperaturi i padalinama za razdoblje od 1981. do 2020. godine s meteoroloških, odnosno klimatoloških postaja na otocima (Cres, Mali Lošinj, Rab), kao i postaja s vodozaštitnih prostora za vodoopskrbne sustave otoka (Senj, Gospić, Split-Marjan). Podaci su dobiveni od Državnoga hidrometeorološkog zavoda. U odabiru postaja u istraživanom prostoru prednost su imale postaje s cijelovitim nizovima podataka za padaline.

Osim osnovnih klimatskih pokazatelja u radu su određeni linearni trendovi promjene godišnjih i sezonskih vrijednosti temperature i količine padalina, a njihova je signifikantnost analizirana Mann-Kendalovim trend testom (Kendall, 1975) s pomoću računalnog programa XLSTAT (Lumivero, 2023). Smanjenje količine padalina i porast temperature imaju negativan učinak na vodoopskrbu, jer se time povećava evaporacija i smanjuje količina vode raspoloživa za živi svijet i stanovništvo. Kako relevantna istraživanja pokazuju sve veću pojavnost suše na Sredozemlju (Gao & Giorgi, 2008; Iglesias i sur., 2007; Solaraju-Murali i sur., 2019), u radu je kao pokazatelj sušnosti korišten indeks standardiziranih padalina, SPI (Standardised Precipitation Index) (McKee i sur., 1993). SPI predstavlja broj standardnih devijacija u odnosu na srednjak, a određuje se normaliziranim gama distribucijom padalina. Ako su količine padalina veće u odnosu na srednju vrijednost, SPI će imati pozitivne vrijednosti, a ako su manje u odnosu na srednju vrijednost, SPI će imati negativne vrijednosti, dok su vrijednosti indeksa između -1 i 1 normalne. Ova se metoda primjenjuje relativno česti jer je potrebno imati niz padalina duljeg razdoblja te se može primijeniti na različite vremenske skale, od kojih se najčešće koriste 1, 3,

6, 12 i 24 mjeseca. Stoga se SPI može koristiti za ocjenu deficitne padaline za različite vodne resurse (podzemne vode, otvorene vodotoke, vlažnost tla) (Tadić i sur., 2015). U radu je korišten SPI3, odnosno uzeta je vremenska skala od tri mjeseca jer pruža sezonsku procjenu odstupanja padalina. SPI je izračunat pomoću računalnog programa DrinC (Drought Indices Calculator) koji je izradio National Technical University of Athens (Tigkas i sur., 2015).

Da bi se utvrdilo vrijeme pojave promjena (porasta ili padova) u nizovima analiziranih podataka primijenjena je RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums) metoda (Garbrecht & Fernandez, 1994), koja je česta u analizama nizova klimatskih podataka (Bonacci i sur., 2020; Bonacci i sur., 2021).

Primarni prostor istraživanja u ovom radu su odabrani jadranski otoci s pripadajućim vodoopskrbnim sustavima: Cres, Lošinj, Rab, Brač i Vis (Sl. 1.). Budući da se vodoopskrbna infrastruktura analiziranih otoka djelomično oslanja na vodne resurse susjednoga kopna, u istraživanju je i to područje uključeno u analizu.



Slika 1. Područje istraživanja

Figure 1 Study area

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

Otoči Cres i Lošinj čine jednu vodoopskrbnu cjelinu resursno oslonjenu na lokalni vodonosnik. Okosnicu vodoopskrbnog sustava otoka čini vodocrpilište na Vranskom jezeru, kao trenutačno jedino vodocrpilište za otoke Cres i Lošinj. Začeci javnog vodoopskrbnog sustava otoka Cresa i Lošinja sežu u prvu polovicu 20. stoljeća, dok je suvremena organizirana vodoopskrba otoka Cresa i Lošinja započela 1952. godine (Vodoopskrba i odvodnja Cres Lošinj d.o.o., 2023).

Otok Rab je vodoopskrbna cjelina s dvojnim resursnim osloncem, manjim se dijelom koristi lokalnim izvorima slatke vode na otoku dok se većinom oslanja na vodu iz kopnenog zaleđa koju dobiva podmorskim cjevovodom. Javna vodoopskrba počela je s razvojem početkom 20. stoljeća oslanjajući se na otočne manje izvore i bunare koji zbog razvoja turizma na otoku nisu mogli zadovoljiti sve veću potrebu za pitkom vodom. Stoga je otok Rab spojen na sustav Vodovod hrvatsko primorje – južni ogrank 1986. godine te od tada dobiva vodu iz hidroenergetskog sustava HE Senj odnosno iz Like (VRELO d.o.o., 2023).

Otok Brač tradicionalno se do 1970-ih oslonjao na lokalne vodne resurse (cisterne, lokve i zdence). Gradnjom regionalnoga vodoopskrbnog sustava Omiš – Brač – Hvar otok je dobio pitku vodu iz hidroenergetskog sustava HE Zakučac odnosno rijeke Cetine. Današnji sustav vodoopskrbe Brača resursno se u potpunosti oslanja na kopreno zaleđe (VODOVOD BRAČ d.o.o., 2023).

Otok Vis ima vlastiti sustav javne vodoopskrbe oslonjen isključivo na lokalne otočne izvore. Još od 1970-ih u planu je spoj otoka podmorskim cjevovodnim sustavom na vode rijeke Cetine, ali se do danas ovaj sustav nije izgradio. Također je potrebno napomenuti da spoj na postojeći sustav na otoku Hvaru ne bi bio dovoljan jer se u postojećim elaboratima vodoopskrbe navodi kako trenutačni sustav Omiš – Brač – Hvar nema dovoljan kapacitet tijekom ljetne turističke sezone (Fidon, 2018; Vodovod i odvodnja otoka Visa d.o.o., 2023).

3. REZULTATI

U analitičkom dijelu istraživanja uzeti su u obzir sljedeći osnovni podaci: mjesечne količine crpljene i prodane vode na otocima, mjesечно kretanje turističkih noćenja, klimatološki podaci o temperaturi i padalinama pripadajućeg vodocrpilišnog područja.

Na temelju analiziranih klimatskih podataka dobiven je uvid u obilježja sušnosti istraživanih postaja koja najviše do izražaja dolaze u ljetnim mjesecima te u postajama južnije (Csa tip klime). Pri tome su u obzir uzeta dva tridesetogodišnja razdoblja, prvo od 1981. do

2010. i drugo od 1991. do 2020. godine, kako bi se ukazalo na utjecaj klimatskih promjena (iako nije riječ o dva susljedna razdoblja). U drugom tridesetogodišnjem razdoblju došlo je do porasta temperature, ali i količine padalina u odnosu na prvo tridesetogodišnje razdoblje (Tab. 2.). Srednja godišnja amplituda temperature u većini je postaja porasla, a najviše u postajama s izraženim maritimnim termičkim utjecajima.

Tablica 2. Promjena srednje godišnje temperature, srednje godišnje amplitude temperature i srednje godišnje količine padalina u analiziranim postajama za razdoblja 1981. – 2010. i 1991. – 2020.

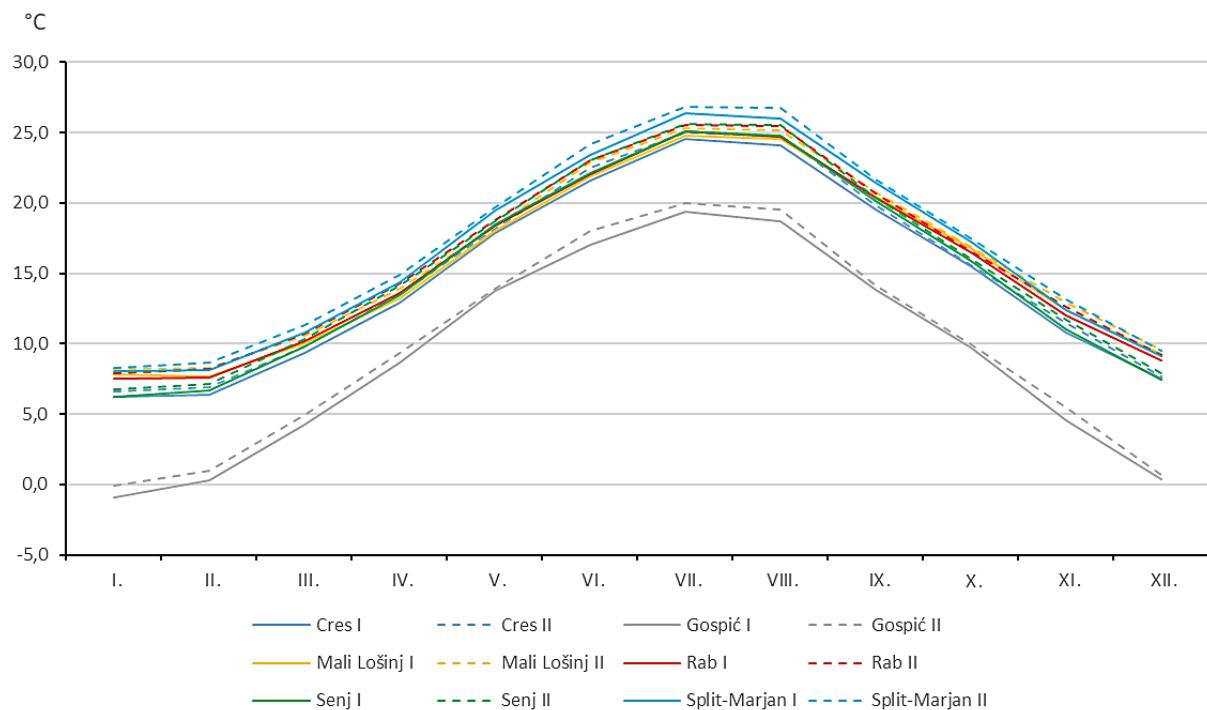
Table 2 Changes in mean annual temperature, mean annual temperature amplitude and mean annual precipitation in the analysed stations for the 1981 – 2010 and 1991 – 2020 periods

Postaja Station	Razdoblje Period	Sr. god. temp. (°C) Mean ann. temp. (°C)	Ampl. temp. (°C) Temp. amp. (°C)	Sr. god. kol. pad. (mm) Mean ann. prec. (mm)
Cres	1981. – 2010.	14,7	18,4	1099,5
	1991. – 2020.	15,1	18,4	1144,0
Gospic	1981. – 2010.	9,1	20,2	1354,6
	1991. – 2020.	9,7	20,1	1391,7
Mali	1981. – 2010.	15,6	16,9	927,3
Lošinj	1991. – 2020.	16,1	17,1	997,0
Rab	1981. – 2010.	15,6	17,6	1087,1
	1991. – 2020.	16,1	17,7	1125,3
Senj	1981. – 2010.	15,1	18,9	1223,6
	1991. – 2020.	15,6	18,9	1284,5
Split-	1981. – 2010.	16,4	18,4	776,1
Marjan	1991. – 2020.	16,9	18,6	800,7

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

Maksimum temperature je u ljetnim mjesecima, srpnju ili kolovozu, a minimum u siječnju ili veljači (Sl. 2.), dok se maksimum količine padalina javlja zimi, u studenom, a minimum u srpnju. Srednja godišnja temperatura porasla je u razdoblju 1991. – 2020. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010., u gotovo svim mjesecima, a najviše u ljetnim, što je u skladu s opaženim klimatskim promjenama, odnosno globalnim porastom temperature. Promjene količine padalina u istraživanim su razdobljima složenija. Iako je srednja godišnja količina padalina porasla u svim postajama (Tab. 2.), u godišnjem hodu to nije jednoliko raspoređeno. Najveći je porast zabilježen u jesenskim i zimskim mjesecima, u većini postaja od rujna do veljače, te u

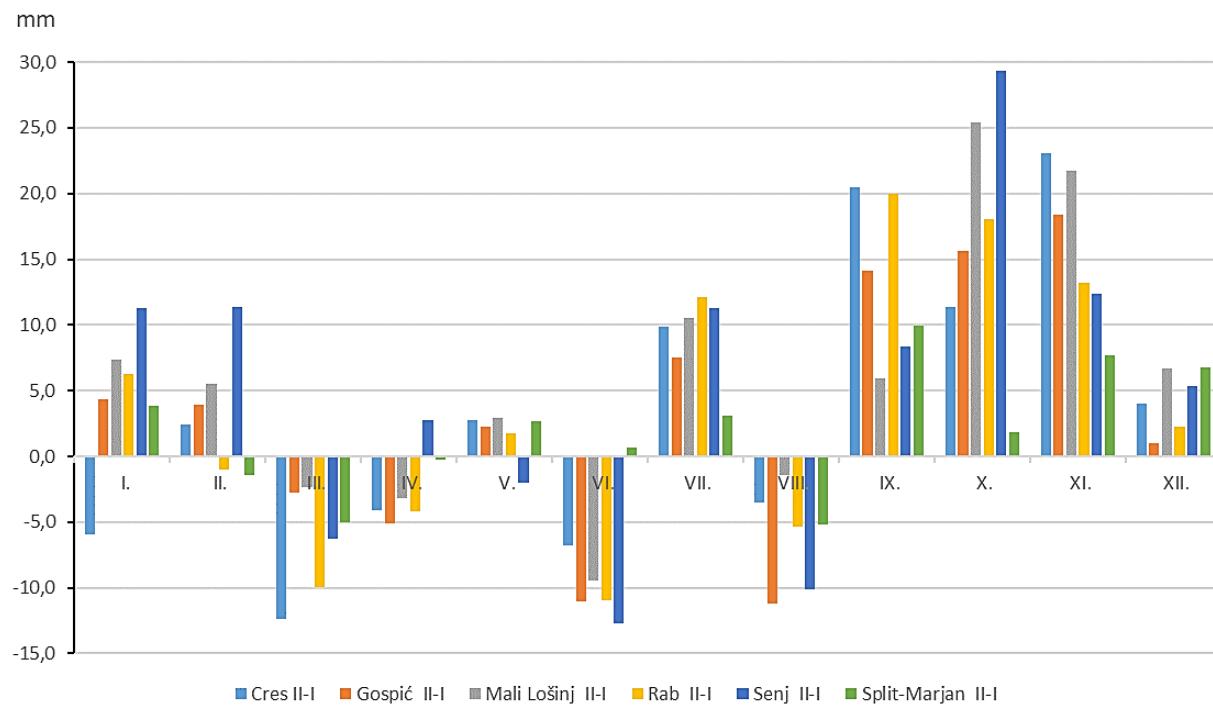
srpnju i manje u svibnju, dok je u preostalim proljetnim i ljetnim mjesecima došlo do smanjenja količine padalina u razdoblju 1991. – 2020. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010., što u razdoblju kada su najveći zahtjevi za vodnim resursima u poljoprivredi i turizmu ima nepovoljan utjecaj na vodoopskrbu. Vrijednostima temperature i padalina ističe se postaja Gospic. Količina padalina na toj postaji upućuje na relativno velike količine padalina koje prima neposredna kopnena unutrašnjost, što je od izrazite važnosti za prihranu vodom krškog vodonosnika kojom se opskrbljuje vodovod Hrvatsko primorje.



Slika 2. Godišnji hod temperature u istraživanim postajama za razdoblja od 1981. do 2010. (I) i 1991. – 2020. (II)

Figure 2 Annual trend of temperature in the research stations for the periods 1981 - 2010 (I) and 1991 - 2020 (II).

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

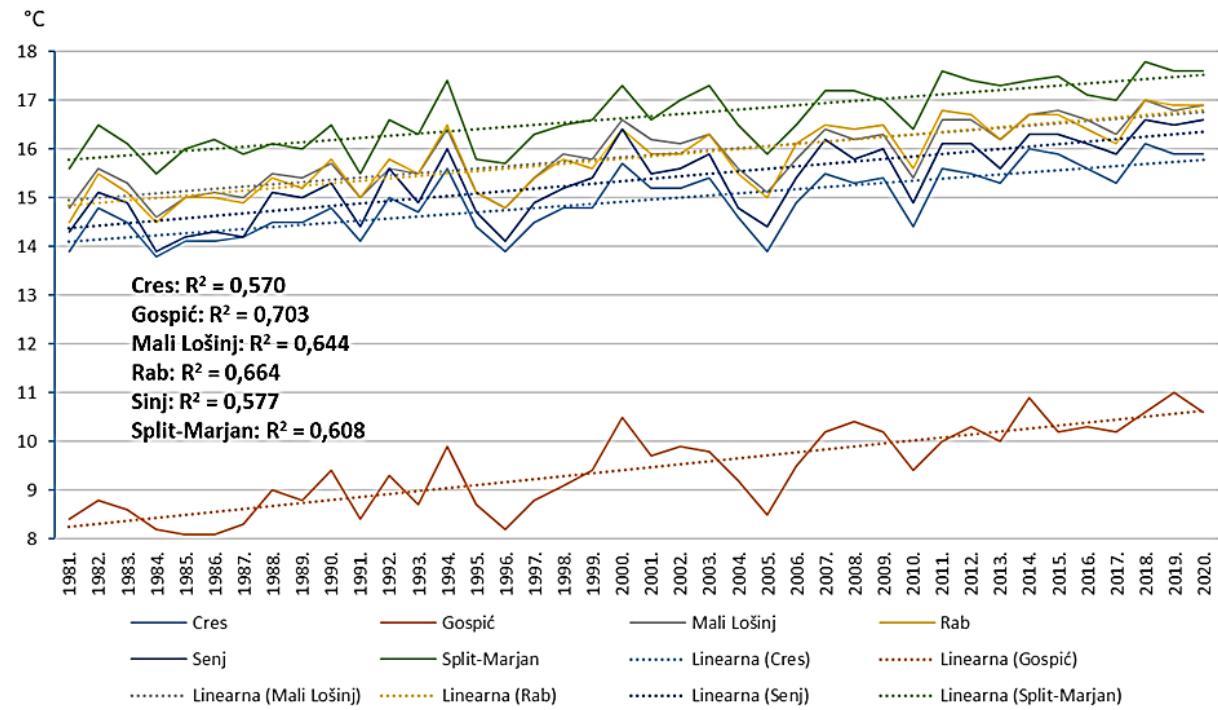


Slika 3. Razlike mjesecnih vrijednosti količine padalina istraživanih razdoblja ($\Delta P = P_{1991-2020} - P_{1981-2010}$) za analizirane postaje

Figure 3 Differences in monthly values of the precipitation amounts during the researched periods ($\Delta P = P_{1991-2020} - P_{1981-2010}$) for the analysed stations

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

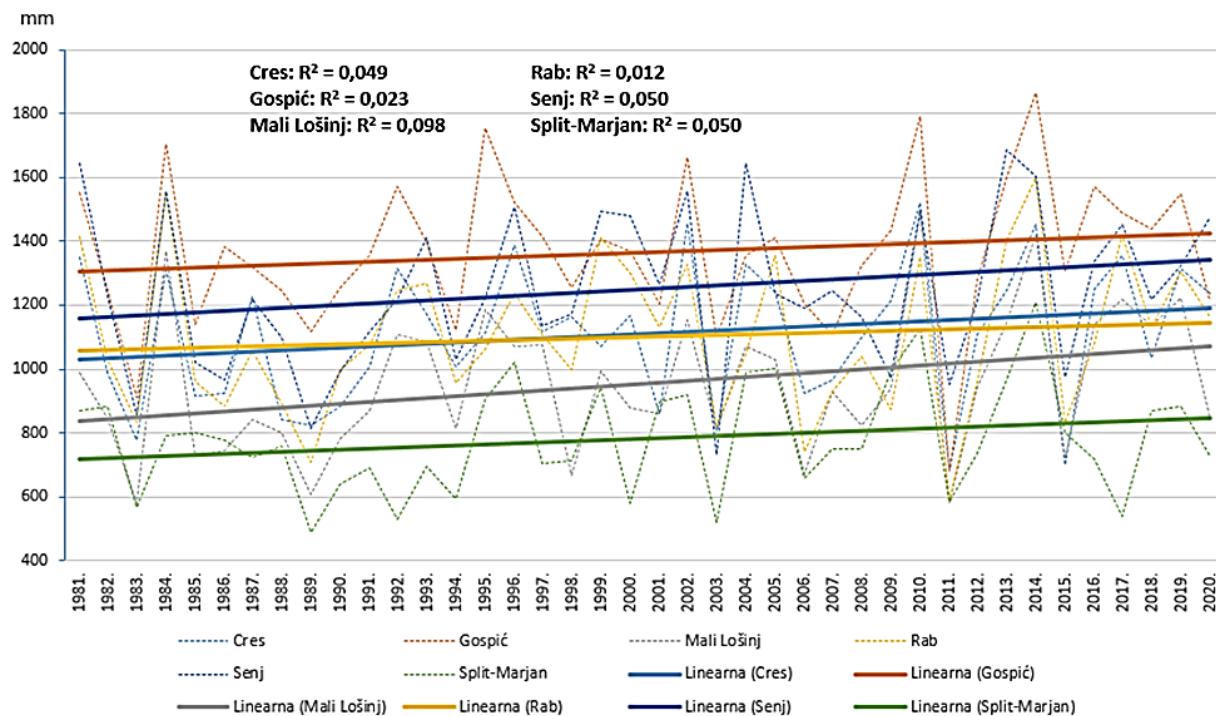
Osim srednjih vrijednosti klimatskih elemenata, za analizu utjecaja klime na vodoopskrbni sustav izrazito je važan i trend njihovih promjena u istraživanom razdoblju. Porast srednje godišnje temperature zabilježen na svim postajama statistički je značajan uz razinu pouzdanosti $\alpha = 0,05$ na većini postaja (Sl. 4. i Tab. 3.) i utječe na povećanje isparavanja što može dovesti do smanjenja količina vode raspoloživih za vodoopskrbu. Porast godišnje količine padalina različitog intenziteta zabilježen je u svim postajama (Sl. 5. i Tab. 3.), ali je za razliku od temperature statistički značajan jedino u postaji Mali Lošinj uz razinu pouzdanosti $\alpha = 0,05$. Koeficijenti determinacije linearног trenda imaju veće vrijednosti za promjenu srednje godišnje temperature nego za promjenu godišnje količine padalina, što ukazuje na značajniji porast temperature u odnosu na kretanje vrijednosti količine padalina u istom razdoblju. U tumačenju utjecaja padalina na potencijal u vodoopskrbi nije zahvalno uzimati u obzir vrijednosti ukupne godišnje količine padalina već sezonske trendove zbog značajne razlike u količinama padalina između ljetnih i jesenskih mjeseci.



Slika 4. Srednja godišnja temperatura, koeficijenti determinacije te trendovi promjene za analizirane postaje u razdoblju 1981. – 2020. godine

Figure 4 Mean annual temperature, coefficients of determination and trends of change for the analysed stations in the 1981 – 2020 period

Izvor: izradili autori / Source: made by authors



Slika 5. Srednja godišnja količina padalina, koeficijenti determinacije te trendovi promjene za analizirane postaje u razdoblju 1981. – 2020.

Figure 5 Mean annual precipitation, coefficients of determination and trends of change for the analysed stations in the 1981 – 2020 period

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

Sezonski trendovi promjene temperature ukazuju na porast u svim godišnjim dobima (Tab. 3.), koja je u svim postajama u istraživanom četrdesetogodišnjem razdoblju statistički značajna. Porast temperature je po iznosu na većini postaja najizraženiji ljeti, što odgovara dosadašnjima istraživanjima koja najznačajniji porast temperature na području hrvatske obale nalaze upravo u tom godišnjem dobu (MZOE, 2023).

Vrijednosti trenda promjene količine padalina nisu u najvećem dijelu statistički značajne (Tab. 3.). Trendovi promjene količine padalina pozitivni su zimi, kada imaju i najveće (pozitivne) vrijednosti, dok su negativne ljeti (osim u postaji Cres). Trendovi promjene količine padalina pozitivni su u jesen, a uglavnom su negativni u proljeće. Negativni trendovi promjene količine padalina ljeti ukazuju na nepovoljni trend smanjivanja količine padaline u godišnje doba koje je već do sada bilo najsušnije.

Tablica 3. Sezonski trendovi promjene srednje temperature i količine padalina za razdoblje 1981. – 2020.**Table 3** Seasonal trend changes of mean temperature ($^{\circ}\text{C}$) and precipitation amounts (mm) for the 1981 – 2020 period

	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					Padaline (mm)				
	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)					Precipitation (mm)				
	Prolj.	Ljeto	Jesen	Zima	God.	Prolj.	Ljeto	Jesen	Zima	God.
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Year	Spring	Summer	Autumn	Winter	Year
Cres	0,047	0,062	0,030	0,034	0,043	-0,913	0,109	3,211	1,714	4,122
Gospic	0,052	0,079	0,046	0,068	0,062	-0,330	-1,395	2,890	1,894	3,058
Mali Lošinj	0,051	0,068	0,026	0,038	0,046	0,193	-0,112	3,053	2,910	6,045
Rab	0,053	0,069	0,034	0,043	0,050	-0,744	-0,886	2,772	1,091	2,233
Senj	0,051	0,070	0,034	0,049	0,051	-0,377	-1,325	3,105	3,284	4,686
Split-Marjan	0,046	0,062	0,033	0,037	0,045	0,263	-0,018	1,257	1,797	3,299

*podebljane vrijednosti označuju statistički značajne trendove uz razinu pouzdanosti $\alpha = 0,05$

*bold values indicate statistically significant trends at the $\alpha = 0.05$ confidence level

Izvor: izračunali autori / Source: calculated by authors

Mjesečni trendovi promjene temperature u istraživanom razdoblju, slično kao i sezonski, upućuju na porast temperature u svim mjesecima, koji je najizraženiji i statistički značajan za ljetne mjesece te u najvećem broju analiziranih postaja za veljaču, travanj i studeni (Tab. 4.). Za razliku od trendova promjene temperature gotovo ni jedan mjesečni trend promjene padalina nije statistički značajan (Tab. 5.). Trendovi promjene količine padalina u proljetnim i ljetnim mjesecima uglavnom su negativni, dok su trendovi promjene količine u zimskim mjesecima uglavnom pozitivni, stoga, premda signal promjene nije statistički značajan, potvrđuju slične promjene koji su utvrđeni za sezonske vrijednosti, a koji mogu imati negativan učinak na sustav vodoopskrbe na hrvatskoj obali, a pogotovo na otocima.

Tablica 4. Mjesečni trendovi promjene srednje temperature (°C) u analiziranim postajama za razdoblje 1981. – 2020.**Table 4** Monthly trend changes of mean temperature (°C) for researched stations in the 1981 – 2020 period

	Cres	Gospic	Mali Lošinj	Rab	Senj	Split-Marjan
I.	0,029	0,070	0,028	0,035	0,046	0,019
II.	0,056	0,092	0,060	0,064	0,061	0,058
III.	0,044	0,055	0,047	0,051	0,046	0,043
IV.	0,064	0,078	0,067	0,067	0,075	0,064
V.	0,033	0,024	0,039	0,041	0,031	0,029
VI.	0,091	0,093	0,091	0,095	0,094	0,072
VII.	0,047	0,066	0,059	0,054	0,057	0,048
VIII.	0,048	0,078	0,053	0,059	0,060	0,066
IX.	0,022	0,019	0,019	0,029	0,018	0,019
X.	0,006	0,019	0,007	0,012	0,015	0,013
XI.	0,063	0,099	0,052	0,062	0,068	0,066
XII.	0,017	0,040	0,025	0,030	0,040	0,033

*podebljane vrijednosti označuju statistički značajne trendove uz razinu pouzdanosti $\alpha = 0,05$ *bold values indicate statistically significant trends at the $\alpha = 0.05$ confidence level

Izvor: izračunali autori / Source: calculated by authors

Tablica 5. Mjesečni trendovi promjene količine padalina (mm) u analiziranim postajama za razdoblje 1981. – 2020.**Table 5** Monthly trend changes of precipitation amounts (mm) for the researched stations in the 1981 – 2020 period

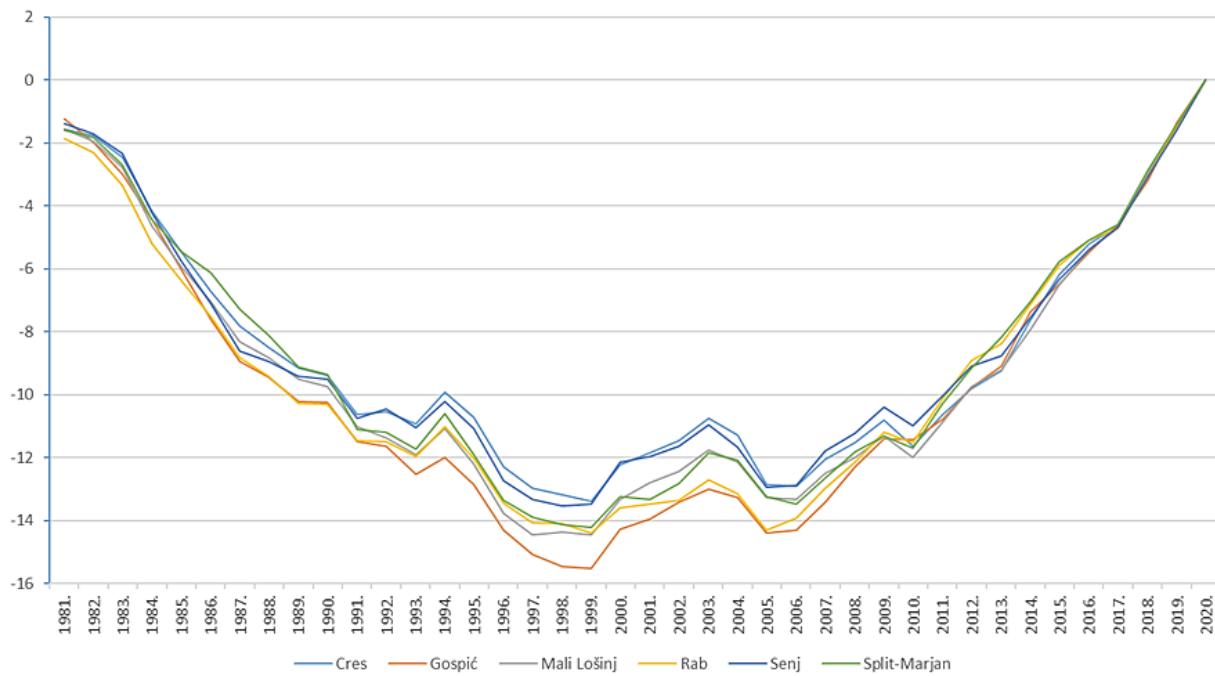
	Cres	Gospic	Mali Lošinj	Rab	Senj	Split-Marjan
I.	0,396	0,954	1,156	0,903	1,490	0,782
II.	0,684	0,707	0,861	0,212	1,291	0,235
III.	-0,934	0,004	-0,073	-0,636	-0,516	-0,201
IV.	-0,243	-0,420	-0,211	-0,415	0,351	0,176
V.	0,264	0,086	0,477	0,307	-0,212	0,287
VI.	-0,673	-1,166	-1,004	-1,189	-1,516	0,137
VII.	0,816	0,477	0,821	0,853	0,788	0,209
VIII.	-0,034	-0,706	0,071	-0,550	-0,596	-0,364
IX.	1,503	1,027	0,038	1,291	0,365	0,597
X.	-0,079	0,301	1,423	0,644	1,730	-0,031
XI.	1,788	1,563	1,592	0,837	1,009	0,692
XII.	0,634	0,232	0,893	0,300	0,502	0,779

*podebljane vrijednosti označuju statistički značajne trendove uz razinu pouzdanosti $\alpha = 0,05$

*bold values indicate statistically significant trends at the $\alpha = 0.05$ confidence level

Izvor: izračunali autori / Source: calculated by authors

Kako bi se detaljnije ispitala promjena temperature u istraživanom razdoblju, RAPS metodom transformirani su nizovi srednjih godišnjih temperatura istraživanih postaja (Sl. 6.). Rezultati su pokazali da u većini postaja promjena nastupa 1999. godine (osim u postaji Senj u kojoj se promjena bilježi od 1998. godine). Iako se u oba podrazdoblja bilježi porast srednje godišnje temperature, do 1999. godine porast je bio bitno manjeg intenziteta i uglavnom nije statistički značajan. Nakon 1999. godine u svim je postajama trend porasta temperature izraženiji i statistički značajan (Tab. 6.). To ukazuje na sve intenzivniji porast temperature u drugoj polovici istraživanog razdoblja što će imati izražene negativne posljedice na sustav vodoo-pskrbe na hrvatskim otocima. Kod promjene količine padalina transformacijom niza RAPS metodom nije uočena takva pravilnost.



Slika 6. Nizovi srednjih godišnjih temperatura transformirani RAPS metodom za istraživane postaje u razdoblju 1981. – 2020.

Figure 6 Time series of mean annual temperatures transformed by the RAPS method for the researched stations in the 1981 – 2020 period

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

Tablica 6. Trendovi promjene srednje godišnje temperature za razdoblje 1981. – 1999. i 1999. – 2020. (za postaju Senj razdoblja su 1981. – 1998. i 1998. – 2020.)

Table 6 Trend changes of the mean annual temperature for the 1981 – 1999 and 1999 – 2020 periods (*for the Senj station, the periods are 1981 – 1998 and 1998 – 2020)

	Cres	Gospic	Mali Lošinj	Rab	Senj*	Split-Marjan
1981. – 1999.	0,032	0,043	0,036	0,044	0,037	0,030
1999. – 2020.	0,046	0,054	0,045	0,051	0,050	0,043

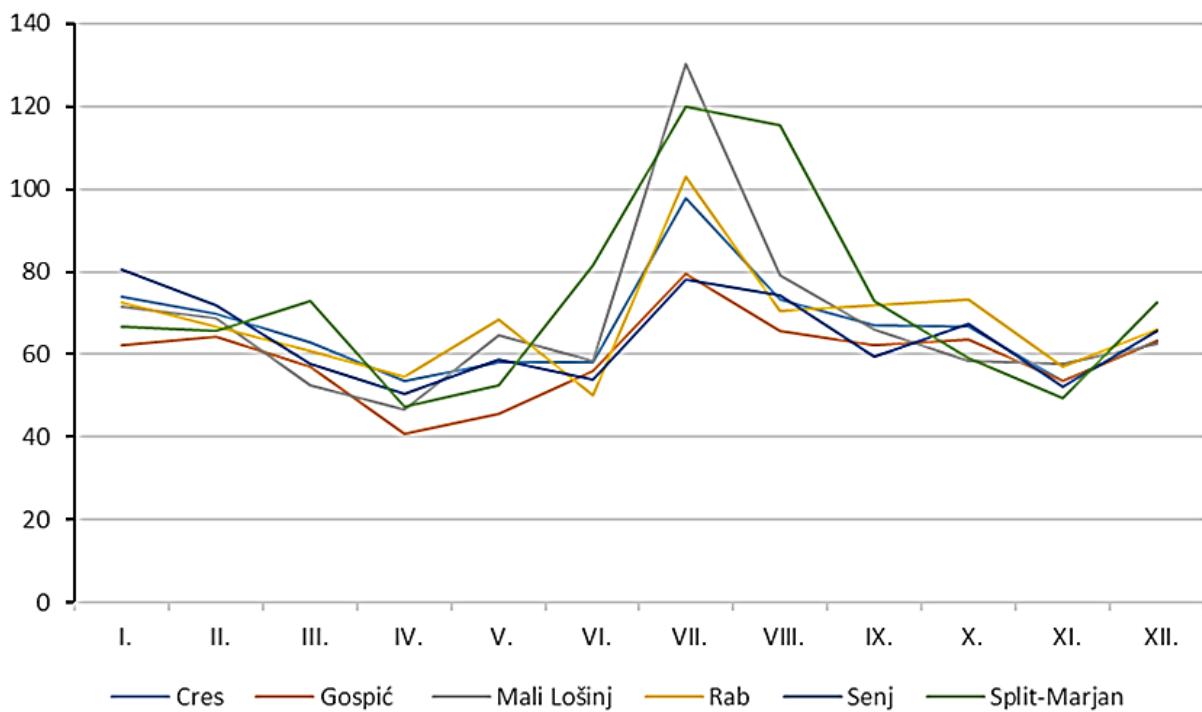
*podebljane vrijednosti označuju statistički značajne trendove uz razinu pouzdanosti $\alpha = 0,05$

*bold values indicate statistically significant trends at the $\alpha = 0.05$ confidence level

Izvor: izračunali autori / Source: calculated by authors

Na temelju prognoza relevantnih regionalnih klimatskih modela (Güttler i sur., 2020.; Lee i sur., 2021; MZO, 2023) za razdoblje 2041. – 2070. godine za obalna područja Hrvatske očekuje se daljnji porast godišnjih i sezonskih temperatura, pogotovo ljeti. Najmanji se porast temperature predviđa za proljetne mjesecе. U istom su razdoblju predviđanja količine padalina različitog predznaka, a izvjesno je smanjenje padalina ljeti na području cijele Hrvatske (između 10 i 15 %). Najveće smanjenje moguće je na većem dijelu obale i u gorskom području (između 15 i 20 %), a u proljetnim mjesecima smanjenje količine padalina može se očekivati u zaleđu obalnog područja, što može nepovoljno utjecati na stanje, odnosno obnovu zalihe vode pred sušno ljetno razdoblje, a time i na vodoopskrbu na obali. Slični su trendovi i drugih pokazatelja koji će utjecati na pojavu sušnosti odnosno porast broja toplih dana i noći, porast broja suhih dana, smanjenje broja umjereno vlažnih i vrlo vlažnih dana. Navedeni su trendovi izraženi na obali, pogotovo u ljetnim mjesecima. Prema rezultatima scenarija klimatskih promjena globalnih klimatskih modela, nastavak prikazanih trendova uz različit intenzitet može se očekivati i do kraja 21. stoljeća (Lee i sur., 2021).

Na problematiku padalina u kontekstu vodoopskrbe u ljetnim mjesecima upućuje i varijabilnost padalina izražena koeficijentom varijacije (Sl. 7.). Varijabilnost padalina najveća je u ljetnim mjesecima i to u postajama koje imaju relativno malu količinu padalina, što je potvrđeno sličnim istraživanjima (Maradin, 2013). Po varijabilnosti padalina ljeti izdvajaju se postaje Mali Lošinj i Split-Marjan, a zatim Rab i Senj. U ostalim su godišnjim dobima vrijednosti varijabilnosti padalina u istraživanim postajama relativno slične. Minimum varijabilnosti padalina je u proljeće, u travnju, što je povoljna okolnost jer znači da su padaline u proljetnim mjesecima, prije ljetnog minimuma padalina, relativno pouzdane.

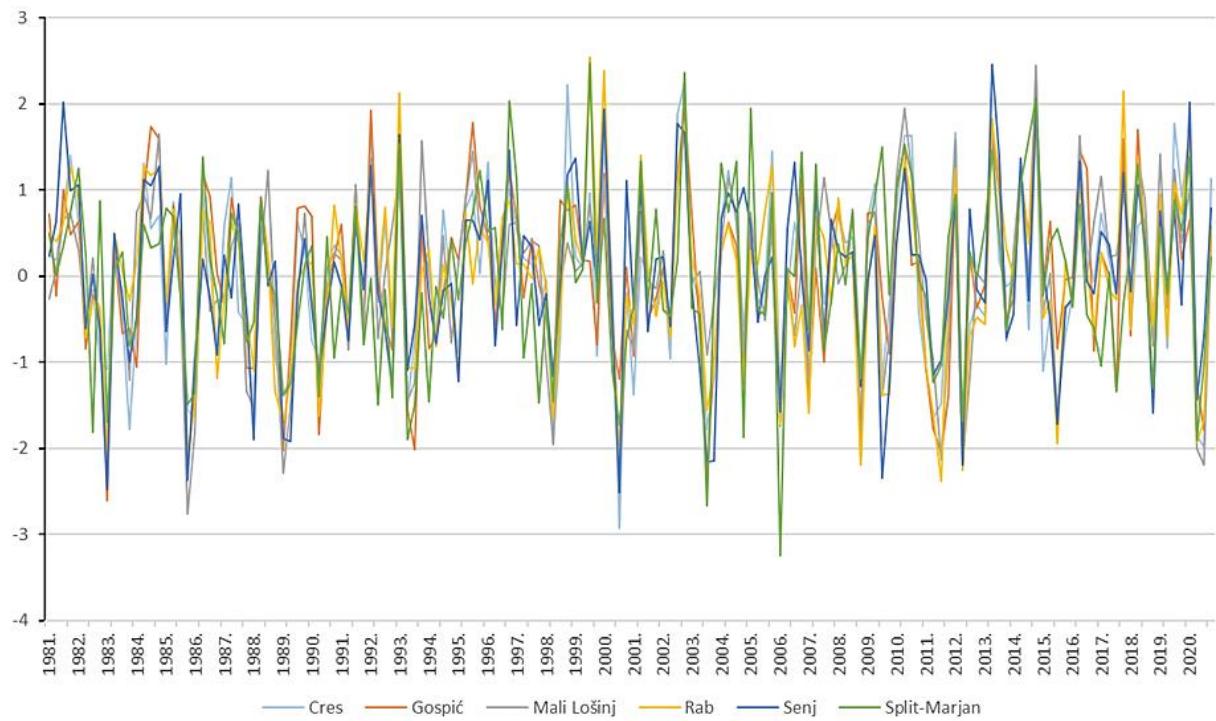


Slika 7. Godišnji hod koeficijenta varijacije količine padalina za razdoblje 1981. – 2020.

Figure 7 Annual trend of the coefficient of variation of the precipitation amounts for the 1981 – 2020 period

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

S pomoću vrijednosti SPI3 dodatno je analizirana pojava sušnosti u istraživanom razdoblju (Sl. 8.). Kretanje godišnjih vrijednosti SPI3 pokazuje izmjenu relativno visokih i relativno niskih vrijednosti toga pokazatelja. Posebno se ističe 2006. godina kada su vrijednosti SPI3 bile izrazito niske, odnosno na većini su postaja vrijednosti bile u rasponu vrlo sušno i ekstremno sušno. Povoljna je okolnost što je broj susljednih godina s niskim vrijednostima SPI3 relativno mali, što se može objasniti sezonskim razlikama u količini padalina, odnosno porastom količina padalina u jesenskim i zimskim mjesecima u odnosu na sušno ljeto. Također, ni jedna se postaja ne ističe izraženom sušnosti u duljem razdoblju, a nije zapažen izražen trend promjene SPI3 pokazatelja ni za jednu postaju. S obzirom na scenarije mogućih klimatskih promjena, intenzitet, pa i trajanje sušnih razdoblja mogli bi se promijeniti, posebno u ljetnim mjesecima, kada se za najveći dio obale predviđa porast temperature i smanjenje količine padalina. Posebno tome može pridonijeti porast broja uzastopnih sušnih dana ljeti, na što ukazuju određeni scenariji klimatskih promjena (MZOE, 2023), što uz porast pritiska potrošnje pitke vode, može dovesti do određenih problema u vodoopskrbnom sustavu, posebno onih otoka koji ovise o vlastitim zalihamama vode.

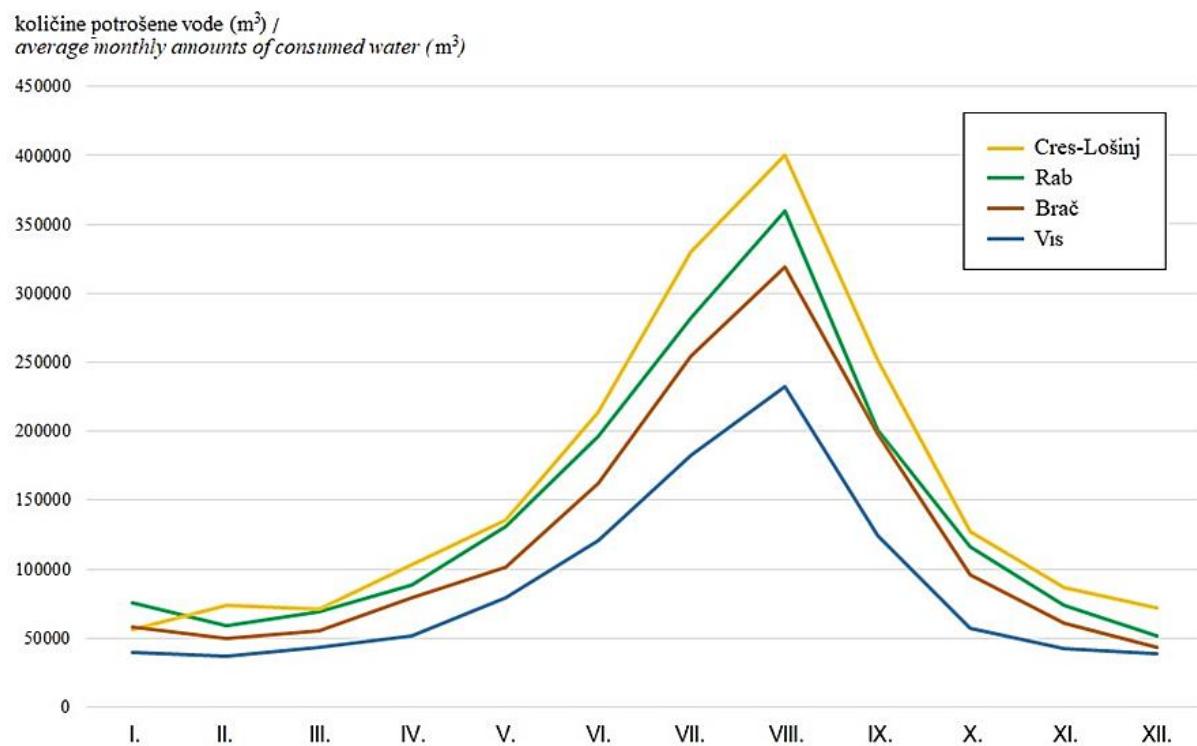


Slika 8. Promjene vrijednosti SPI3 za istraživane postaje u razdoblju 1981. – 2020.

Figure 8 Changes in SPI3 values for the researched stations for the 1981 – 2020 period

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

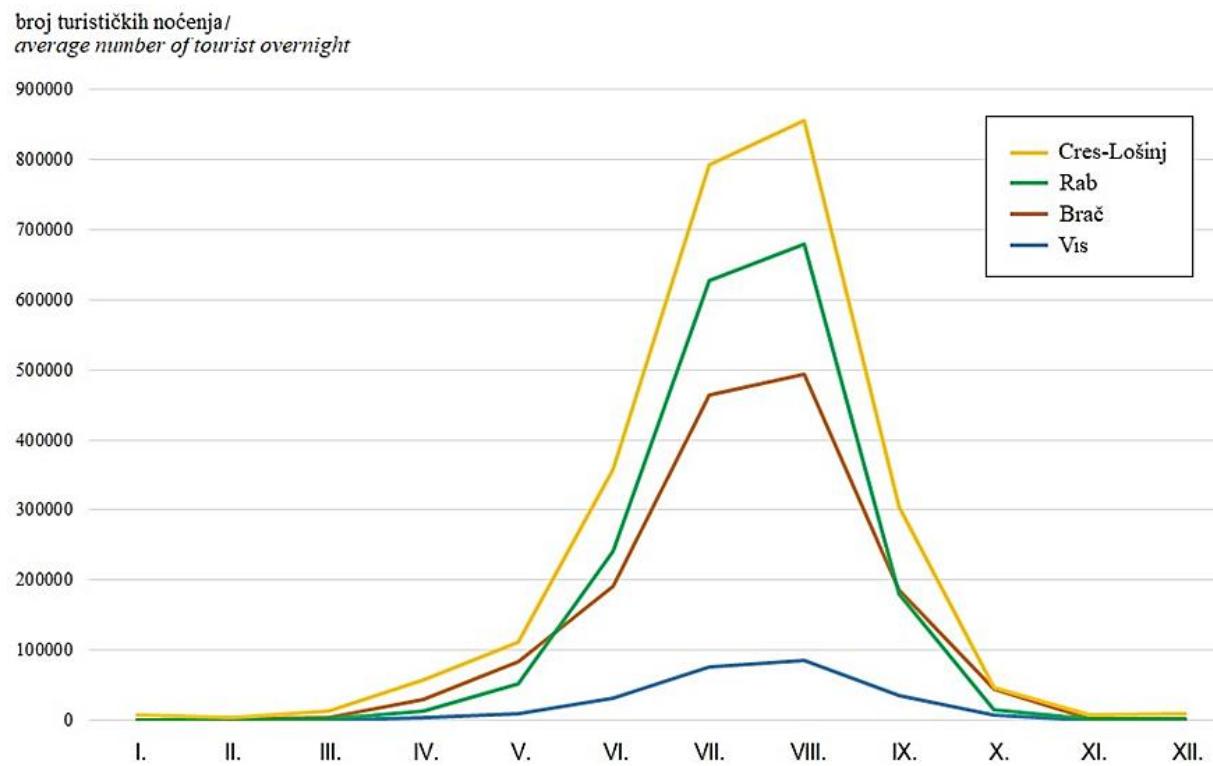
Analizom prikupljenih podataka otočnih vodoopskrbnih sustava i turističkih pokazatelja utvrđen je odnos kretanja potrošnje vode i turističkih noćenja s jasnom sezonalnošću i podudarnošću mjesečnog hoda što je najizraženije u ljetnom turističkom maksimumu (srpanj/kolovož) koji rezultira značajnim porastom potrošnje vode i opterećenošću vodoopskrbnog sustava (Sl. 9., 10. i 11.). Daljnjom analizom utvrđen je obrnuto proporcionalni odnos mjesečnog hoda potrošnje vode u odnosu na sezonsku (ljetnu) raspoloživost vodnih resursa, srednju mjesečnu temperaturu i pojavu karakterističnoga mediteranskog sušnog ljetnog razdoblja (Sl. 9. i 10. i Tab. 3.).



Slika 9. Prosječne mjesecne količine potrošene vode na otocima u razdoblju 2015. – 2020.

Figure 9 Average monthly amounts of water consumed on the islands in the period 2015 – 2020

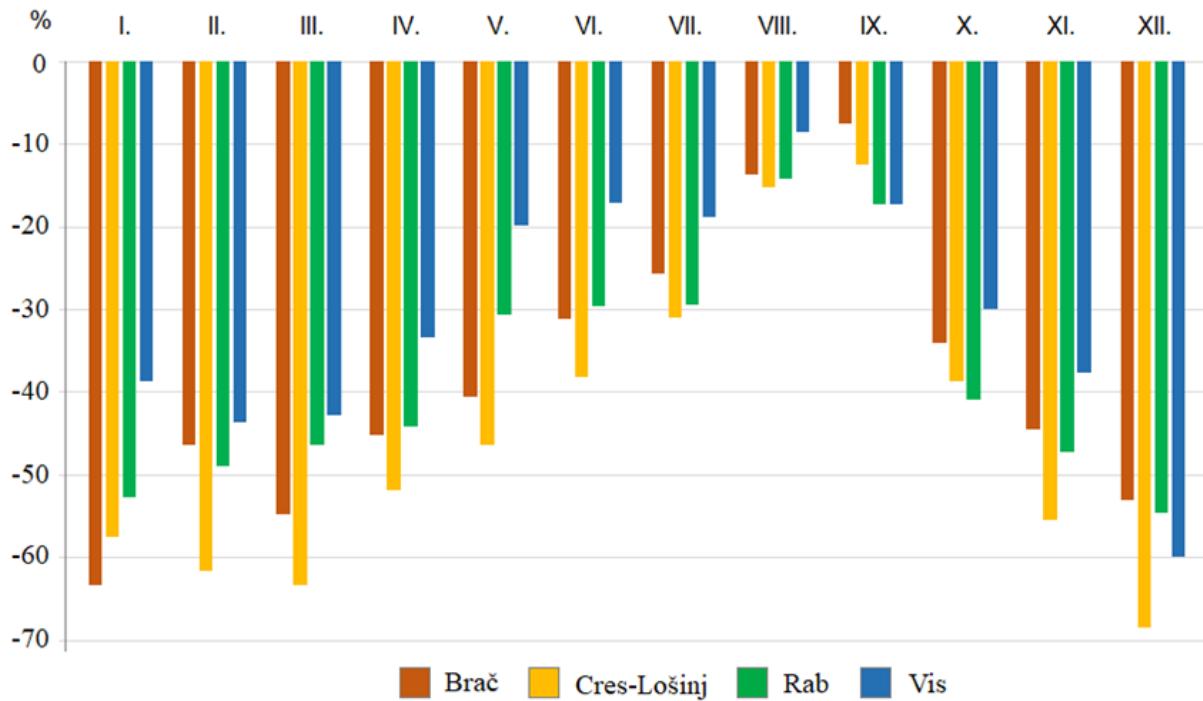
Izvor: izradili autori / Source: made by authors



Slika 10. Prosječan broj turističkih noćenja po mjesecima na otocima u razdoblju 2015. – 2020.

Figure 10 Average number of tourist overnight stays per month on the islands in the period 2015 – 2020

Izvor: izradili autori / Source: made by authors



Slika 11. Udio mjesecnih gubitaka zahvaćene vode po vodoopskrbnim sustavima otoka u razdoblju 2015. – 2020.

Figure 11 Share of monthly losses of captured water by the island's water supply systems in the period 2015 – 2020

Izvor: izradili autori / Source: made by authors

Iz Sl. 11. vidljivo je da je značajna sustavna „zaliha za buduću potrošnju“ na otocima upravo izgubljena količina vode, koja na razini godine na otocima varira između 31 % i 39 %. U dosadašnjim istraživanjima upravo se ovaj segment tzv. „potencijalne zalihe vode u sustavu“ često naglašavao pa tako primjerice u analizi održivosti vodoopskrbe u uvjetima klimatskih promjena Margeta (2022) navodi da su najveća prijetnja održivosti vodoopskrbe veliki gubici vode koji ugrožavaju raspoloživi kapacitet sustava. Ipak, potrebno je istaknuti sezonske razlike gubitaka, odnosno udjeli gubitaka vode po mjesecima značajno variraju i pokazuju pravilnost tako da su gubici najmanji (pa je time i „potencijalna zaliha vode u sustavu“ najmanja) upravo tijekom ljetnih mjeseci kada su vodoopskrbni sustavi na maksimumu iskorištenosti te je potrošnja najveća. Margeta (2022) navodi da bi se smanjenjem gubitaka postojećega vodoopskrbnog sustava na razinu od 20 % riješili mnogi problemi prilagodbe kapaciteta vodoopskrbnih sustava klimatskim promjenama. Analizirajući stanje na otocima Lošinju, Cresu, Rabu, Braču i Visu vidljivo je da srpanj i kolovoz imaju gubitke između 8 % i 17 % što upućuje na nedostatne količine „zalihe vode u sustavu“ upravo tijekom vršnih opterećenja koja se preklapaju sa sušnim razdobljem. Gubici vode se u relativnom udjelu značajno smanjuju tijekom ljetne turističke

sezone (Sl. 11.) upravo zbog povećane potrošnje odnosno brzine protoka vode kroz vodoopskrbni sustav. Tako se gubici, kao posljedica propuštanja na vodoopskrbnom sustavu koji je pod tlakom, povećavaju u relativnom udjelu što je protok odnosno potrošnja vode u sustavu sporiji odnosno najveći su u zimskim mjesecima.

4. RASPRAVA

Kretanje vrijednosti crpljene i prodane vode u vodoopskrbnim sustavima promatranih otoka ima sezonalni karakter s izraženim ljetnim maksimumom (Sl. 9. i 10.). Daljnje izgledno smanjenje količine padalina ljeti dodatno će u budućnosti otežati vodoopskrbu na otocima čiji vodoopskrbni sustav nije povezan sa sustavom na kopnu te izravno ovisi o količini padalina, a u uvjetima povećane potražnje zbog velikog broja potrošača u vidu turista. Godišnji hod potrošnje vode po mjesecima sukladan je hodu turističkih noćenja na otocima (Sl. 9., 10. i 11.). Uz trenutačne vrijednosti potrošnje vode na otocima iz aspekta razvojne održivosti od iznimne je važnosti uzeti u obzir i mogućnosti povećanja količina dostupne vode, posebice tijekom ljetnih mjeseci.

Budući da se u ljetnim mjesecima na otocima javlja sušni period (Tab. 3.), bitno je za budućnost vodoopskrbe razmotriti značajnije smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu. Gubici otočnih vodoopskrbnih sustava po mjesecima značajno variraju i pokazuju pravilnost pri čemu su tijekom ljetnih mjeseci kada je potrošnja najveća relativni gubici najmanji, a time i „potencijalna zaliha vode u sustavu“ najmanja (Sl. 11.). Navedeno ukazuje na djelomičnu mogućnost oslanjanja na smanjivanje gubitaka u sustavu kao rješenje za povećanje održivosti u uvjetima povećanja zahtjeva porastom turističkog prometa na otocima. Stoga je, u kontekstu dalnjeg razvoja turizma, potrebno provesti prilagodbe vršnim sezonskim opterećenjima vodoopskrbnih sustava otoka tijekom sušnih ljetnih razdoblja razmatrajući sve moguće opcije i kombinirati dostupna rješenja.

Terzić i sur. (2022a.), primjerice, u svojem istraživanju opisuju moguće scenarije prilagodbe otočnih sustava vodoopskrbe: 1. povećanje crpljenja vode iz vodonosnika (što bi moglo dodatno sniziti razine podzemne vode na vodocrpilištima i otvoriti mogućnost zaslanjivanja otočnih vodonosnika), 2. bušenje novih zdenaca izvan postojećeg područja trenutačnih crpilišta (što bi također moglo dovesti do snižavanja vode u otočnom vodonosniku i mogućeg zaslanjivanja), 3. izgradnja uređaja za desalinizaciju boćate ili morske vode (što nosi sa sobom veća

početna ulaganja, ali i povećane energetske troškove tijekom eksploatacije sustava), 4. mogućnosti ponovne upotrebe korištene vode uz njezinu obradu ovisno o stupnju onečišćenja (što u uvjetima poskupljenja energije može dovesti u pitanje isplativost u odnosu na druge sustave). Suvremene strategije gospodarenja vodnim resursima u Europskoj uniji, posebice na Sredozemlju kao odgovor na izazove sezonskih opterećenja vodoopskrbnih sustava u uvjetima klimatskih promjena, ozbiljno razmatraju mogućnosti ponovne upotrebe vode (Regulation EU 2020/741 Europskog parlamenta o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode). Navedena Uredba cilja na pročišćavanje komunalnih otpadnih voda kao alternativnog načina vodoopskrbe u područjima s manjkom prirodnih vodnih kapaciteta, a to su nedvosmisleno otoci tijekom ljetnih mjeseci. Tomas i Blaž (2022) navode da bi u Republici Hrvatskoj ponovna upotreba vode posebno pomogla ublažiti probleme s vodoopskrbom na otocima za vrijeme sušnih perioda kada se višestruko poveća broj potrošača vode zbog turističkog opterećenja vodoopskrbnog sustava te bi se ovisno o stupnju pročišćavanja, reciklirana voda mogla koristiti za pranje ulica, navodnjavanje zelenih površina ili alternativno i za potrebe umjetnog prihranjivanja vodonosnika. Vlašić (2022) tvrdi da je razumno razmišljati i o korištenju pročišćenih otpadnih voda na otocima kao potpore razvoju poljoprivredne aktivnosti tijekom sušnog razdoblja. Uzimajući u obzir navedeno, postavlja se pitanja je li u budućim investicijskim ciklusima ulaganja u vodoopskrbu isplativo odvojiti sustav pitke vode od sustava vode za navodnjavanje, pranje ili ispiranje (posebice kod planiranja rekonstrukcije ili gradnje novih većih objekata kao što su hoteli i slično).

Istraživanja provedena prije aktualne energetske krize, primjerice Lutzenberger (2013), navode da je održivost vodoopskrbe s kopna ekonomski skupa te izložena rizicima s infrastrukturne i klimatske strane te promiče desalinizacijske sustave obrade vode na otocima kao održive scenarije razvoja vodoopskrbe. U kontekstu analiziranih utjecaja klimatskih promjena te budućih scenarija klimatskih promjena, mjere prioritetnog djelovanja Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu navode jačanje otpornosti na klimatske primjene kroz izgradnju desalinizacijskih uređaja (HM-06-06) i izgradnju zahvata za povećanje korištenja kišnice (HM-06-05) te primjenu voda niže kakvoće za sekundarno korištenje (HM-06-04) i ponovnu upotrebu pročišćenih otpadnih i oborinskih voda (HM-06-03).

Za razliku od navedenih pristupa rješavanja pitanja održivosti otočne vodoopskrbe, u ovom radu ističu se i tradicionalni stoljećima upotrebljavani sustav održivoga gospodarenja vodnim resursima prikupljanjem i skladištenjem kišnice. Nacionalni program razvitka otoka već

je 1997. godine u razlaganju programa navodnjavanja otočnih poljoprivrednih površina predviđao rekonstrukciju postojećih i gradnju novih cisterni, uređenje zapuštenih lokava, korištenje geomembrana te nabavu sustava za natapanje, ali nakon toga nije došlo do realizacije navedenih sustava prikupljanja, čuvanja i korištenja lokalnih vodnih resursa. U kontinuitetu strateških razvojnih dokumenata Nacionalni plan razvoja otoka 2021. – 2027., kao prioritet 3. Pametno i održivo upravljanje otočnim resursima i okolišem, predviđa projekte rekonstrukcije sustava prikupljanja kišnice za održavanje elemenata zelene infrastrukture te prepoznaće i naglašava potrebu za tim tijekom ljetnih sušnih mjeseci. Uz nacionalne strateške dokumente i ostala istraživanja, posebice s mediteranskog prostora, kao npr. Muselli i sur. (2009), navode da je prikupljanje kišnice ekonomski isplativo jer ima manja početna finansijska ulaganja, ne ostavlja veliki okolišni otisak i zahtijeva niska ulaganja tijekom eksploatacije sustava. U navedenom istraživanju istaknuto je da se mogu obnoviti i unaprijediti napušteni sustavi prikupljanja kišnice koji su vrlo rašireni na otocima, a koji bi uz postojeći vodoopskrbni sustav mogli podignuti održivost vodoopskrbe tijekom vršnih opterećenja. Voda iz sustava prikupljanja s krovova i namjenskih površina može biti neobrađena za potrebe ispiranja, pranja ili navodnjavanja ili pak obrađena za potrebe pitke vode. U prilog sustavima prikupljanja kišnice na otocima ide i aktualna energetska kriza jer su ovi sustavi bili funkcionalni na otocima i u doba kada je električna mreža na otocima bila nepoznanica. Tako primjerice Margeta (2022) navodi da je ograničavajući čimbenik za alternativnu vodoopskrbu u obliku gradnje desalinizatora i cijena električne energije dok je sustav prikupljanja kišnice energetski neusporedivo učinkovitiji.

5. ZAKLJUČAK

Održivo gospodarenje vodnim resursima na otocima izazov je za budućnost. Radi postizanja trajne dobrobiti za lokalnu zajednicu, potrebno mu je pristupiti analitički uz stalno prilagođavanje lokalnim specifičnostima otoka. Podizanje samodostatnosti lokalnih otočnih zajednica po svim resursnim osnovama, pa tako i u domeni vodoopskrbe, strateško je pitanje i nužnost budućeg razvoja otočnih zajednica.

Klimatske promjene uz očekivani razvoj turizma s povećanjem noćenja i povećanjem potrošnje vode utjecat će na nužnost prilagodbe vodoopskrbnih sustava na hrvatskim otocima. Scenariji klimatskih promjena upućuju na to da će se njihov utjecaj očitovati u smanjenju ljetne prihrane vodonosnika, kvaliteti vode u njima, a može dovesti i do povećanja rizika zaslanjivanja krških vodonosnika. Smanjenje količine padalina i nepovoljni pokazatelji sušnosti u toploj dijelu godine koji se poklapa s maksimumom turističkog opterećenja i potrebama za vodom na otocima dovest će do rekonstrukcije vodoopskrbnih sustava s ciljem smanjivanja gubitaka u sustavu. Pri tome je nužno: povećati vodospreme kao rezerve vode iz dijela godine u kojima su vodni resursi pod manjim pritiskom, smanjiti opću potrošnju vode, pronaći nove prirodne (izvori, zdenci, spojevi na obalne vodovodne sustave) ili umjetne (desalinizatori, pročišćivači) ulazne količine vode na otocima uz praćenje kvalitete vode, reaktivirati tradicionalne načine prikupljanja kišnice i izgraditi nove površine za prikupljanje te razdvojiti sustave pitke vode od sanitarno-tehničke vode. Uz navedeno, na otocima se uz uobičajenu količinu pitke vode koja se koristi svakodnevno ne smije zaboraviti sigurnosni aspekt vodoopskrbnih sustava koji bi trebali imati određenu rezervu, ovisno o površini i obilježjima otoka, u slučaju požara koji su također najčešći u ljetnom razdoblju.

Zaključno, ovo istraživanje pokazuje da postoje razlike u vodoopskrbnim sustavima i otpornosti otoka na izgledne promjene u bližoj budućnosti otoka te da je svakom otoku pri promišljanju održivosti potrebno pristupiti pojedinačno. Od istraživanih otoka u ovom radu potrebno je razlikovati situacije vodoopskrbnih sustava otoka Raba i Brača koji su spojeni podmorskim vodoopskrbnim cijevima na kopnene vodne resurse te su time u povoljnijoj i stabilnijoj situaciji. Za razliku od njih, otoci Cres, Lošinj i Vis trenutačno ovise o vlastitim vodnim kapacitetima te im je tijekom ljetnih mjeseci narušena održivost vodoopskrbe. Vodoopskrbna situacija na Cresu, Lošinju i Visu dalnjom ekspanzijom turizma kao osnovne djelatnosti dovest će do povećanih potreba za vodom iz lokalnih vodonosnika što povećava potencijalni rizik od zaslanjivanja i gubitka funkcionalnosti trenutačnog vodoopskrbnog sustava.

Održivost i prosperitet lokalne otočne zajednice svakog od istraživanih otoka nedvojbeno ovisi o stabilnosti vodoopskrbe u budućnosti. Traženje najpovoljnijih rješenja za otpornost lokalnih zajednica u kontekstu dalnjeg razvoja turizma u uvjetima klimatskih promjena te streljenju samoodrživosti otoka vodi izglednom djelomičnom povratku na tradicionalne načine vodoopskrbe prikupljanjem kišnice. Nadograđivanjem tradicionalnih sustava prikupljanja kišnice i uklapanjem novijih sustava za filtraciju, dezinfekciju i čuvanje kvalitete vode te njezinu distribuciju pridonijet će se iskoraku lokalnih zajednica u smislu njihove samodostatnosti, održivosti i otpornosti na klimatske promjene.

Moguća rješenja na putu prema povećanju održivosti i samodostatnosti otoka što se tiče vodoopskrbe imaju više scenarija s različitim izvedbenim kombinacijama te ih je potrebno prilagođavati specifičnostima pojedinog otoka. Ne manje bitan element koji ide u prilog revitalizaciji i nadogradnji tradicionalnih sustava prikupljanja kišnice na otocima je poštovanje lokalne baštine jer su cisterne, gustjerne, šterne... ne samo graditeljska već i kulturna baština otoka koja ih čini arhitektonski i pejzažno prepoznatljivima, vodoopskrbno održivima i ekološki prihvatljivima.

Autorski doprinosi: Oba autora su svatko u svojem predmetnom području istraživanja sudjelovala u izradi ovoga rada, a ukupno u jednakom omjeru pridonijela konačnom oblikovanju članka.

Izjava o dostupnosti podataka: Podaci su dostupni na zahtjev autorima

Zahvala: Autori zahvaljuju javnim ustanovama i djelatnicima komunalnih vodoopskrbnih tvrtki na otocima Cres/Lošinj, Rab, Brač i Vis na dostavljenim podacima.

Sukob interesa: Autori izjavljuju da nema sukoba interesa.

Popis literature i izvora

Bagarić, I., Linčir, P., & Novosel, T. (1997). Istraživanje mogućnosti vodoopskrbe otoka Visa iz postojećeg crpilišta podzemne vode "Korita". *Institut građevinarstva Hrvatske, Zavod za hidrotehniku*.

Biondić, B., Ivičić, D., Kapelj B., & Mesić, S. (1995). Hidrologija Vranskog jezera na otoku Cresu. In Vlahišić I. and Velić I (Eds.), *Prvi hrvatski geološki kongres* (pp. 89 – 94)., Hrvatsko geološko društvo.

Bonacci, O. (1995). Investigations in karst hydrology of Croatia – The Lake Vrana on the Island of Cres. *Acta Geologica* 25(1), 1 – 15.

Bonacci, O., & Roje-Bonacci, T. (2004). Posebnosti krških vodonosnika. *Gradjevni godišnjak* 2003./2004., 89 – 187.

Bonacci, O., Ljubenkov, I., & Knezić, S. (2012). The water on a small karst island: the island of Korčula (Croatia) as an example, *Environmental Earth Sciences*, 66(5), 1345 – 1357.

<https://doi.org/10.1007/s12665-011-1345-9>

Bonacci, O., Patekar, M., Pola, M., & Roje-Bonacci, T. (2020). Analyses of Climate Variations at Four Meteorological Stations on Remote Islands in the Croatian Part of the Adriatic Sea.

Atmosphere, 11(10), Article 1044. <https://doi.org/doi:10.3390/atmos11101044>

Bonacci, O., Bonacci, D., & Patekar, M. (2021). Analiza odnosa temperature zraka, temperature površine mora i oborina na otoku Visu. *Hrvatske vode*, 29(118), 275 – 289. <https://hr-cak.srce.hr/274290>

Državni zavod za statistiku. (2023). *Procjena stanovništva po gradovima/općinama*.

https://web.dzs.hr/PXWeb/Menu.aspx?px_db=Stanovni%u0161tvo&px_language=hr&rxd=b0b6471c-5336-4e6d-9740-5acb25a00eab, 20. 7. 2023

Fidon d.o.o. (2018). *Elaborat zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat: dodatni podmorski cjevovod na spoju vodoopskrbnih sustava Omiša i Brača*.

https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKO-LIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/17_04_2019_Elaborat_Ga-leb_Omi%C5%A1.pdf

Gao, X., & Giorgi, F. (2008). Increased Aridity in the Mediterranean Region under Greenhouse Gas Forcing Estimated from High Resolution Simulations with a Regional Climate Model. *Global and Planetary Change*, 62(3-4), 195 – 209. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.02.002>

Garbrecht, J., & Fernandez, G. P. (1994). Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin*, 30(2), 297 – 306. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1994.tb03292.x>

- Grofelnik, H. (2017). The local blue water footprint of tourism on the islands of Cres and Lošinj. *Hrvatski geografski glasnik*, 79(2). <https://doi.org/10.21861/HGG.2017.79.02.02>
- Guemas, V., García-Serrano, J., Mariotti, A., Doblas-Reyes, F., & Caron, L. P. (2015). Prospects for decadal climate prediction in the Mediterranean region. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(687), 580 – 597. <https://doi.org/10.1002/qj.2379>
- Güttler, I., Stilinović, T., Srnec, L., Branković, Č., Coppola, E., & Giorgi, F. (2020). Performance of RegCM4 simulations over Croatia and adjacent climate regions. *International Journal of Climatology*, 40, 1 – 20. <https://doi.org/10.1002/joc.6552>
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., & Moneo, M. (2007). Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resource Management*, 21, 775 – 788. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9111-6>.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods* (4th ed). Charles Griffin.
- Lee, J. Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S., & Zhou, T. (2021). Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., & Zhou B. (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 553 – 672). Cambridge University Press <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
- Lukač Reberski, J., Rubinić, J., Terzić, J., & Radišić, M. (2020). Climate change impacts on groundwater resources in the coastal Karstic Adriatic area: A case study from the Dinaric Karst. *Natural Resources Research*, 29, 1975 – 1988. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09558-6>
- Lumivero. (2023). *XLSTAT statistical and data analysis solution* [Computer software]. <https://lumivero.com/>

Luttenberger, L. R. (2013, November 22 – 23). Zbornik radova *V. savjetovanje o morskoj tehnologiji: Postizanje održivosti vodoopskrbe otoka.*, Rijeka, 22. i 23. studenog 2013., & St doo. Opatija, 51 – 67.

Maradin, M. (2013). Varijabilnost padalina na području Hrvatske s maritimnim pluviometrijskim režimom. *Geoadria*, 18(1), 3 – 27. <https://doi.org/10.15291/geoadria.142>

Margeta, J. (2022, October 4 – 7). Sustainability of water supply in a climatically uncertain future. In Ujević Bošnjak M. (Ed.) *Proceedings of XXVI. scientific and professional conference*. 4. – 7. listopada 2022, Vis.

McKee T. B., Doesken N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Proceedings of the 8th International Conference on Applied Climatology*, 179–184. <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>

Muselli, M., Beysens, D., Mileta, M., & Milimouk, I. (2009). Dew and rain water collection in the Dalmatian Coast, Croatia. *Atmospheric Research*, 92(4), 455 – 463. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.01.004>

Ministarstvo razvjeta i obnove, Republike Hrvatske, MRO. (1997). *Nacionalni program razvjeta otoka*. http://dokumenti.azo.hr/Dokumenti/Nacionalni_program_razvjeta_otoka.pdf

Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije, Republika Hrvatska, MRRFEU. (2021). *Nacionalni plan razvoja otoka 2021.-2027.* <https://razvoj.gov.hr/UserDocsImages/O%20ministarstvu/Regionalni%20razvoj/Otoci%20i%20priobalje/2021/Nacionalni%20plan%20razvoja%20otoka%202021.-2027. 28.12.2021..pdf>

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Republika Hrvatska, MZOE. (2023). *Osmo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)*.

Ožanić, N., & Rubinić, J. (1998). Hidrološke značajke i režim funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. *Voda na Hrvatskim otocima: zbornik radova*, Hrvatsko hidrološko društvo, 257 – 266.

Norrant, C., & Douguédroit, A. (2006). Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 89 – 106.

<https://doi.org/10.1007/s00704-005-0163-y>

Patekar, M., Bašić, M., Pola, M., Kosović, I., Terzić, J., Lucca, A., Mittempergher, S., Berio, R., & Borović, S. (2022). Multidisciplinary investigations of a karst reservoir for managed aquifer recharge applications on the island of Vis (Croatia). *Acque Soterranee*, 11(1), 37 – 48.

<https://doi.org/10.7343/as-2022-557>

EUR – Lex. (2020). *Regulation EU 2020/74 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse*, <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>

Seager, R., Liu, H., Henderson, N., Simpson, I., Kelley, C., Shaw, T., Kushnir, Y., & Ting, M. (2014). Causes of Increasing Aridification of the Mediterranean Region in Response to Rising Greenhouse Gases. *Journal of Climate*, 27, 4655 – 4676. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00446.1>

Slavuj, L., Čanjevac, I., & Opačić, V. T. (2009). Vodoopskrba kao faktor održivog razvoja turizma otoka Krka. *Hrvatski geografski glasnik*, 71(2), 23 – 41.

<https://doi.org/10.21861/hgg.2009.71.02.02>

Solaraju-Murali, B., Caron, L.-P., Gonzalez-Reviriego, N., & Doblas-Reyes, F. (2019). Multi-year prediction of European summer drought conditions for the agricultural sector. *Environmental Research Letters*, 14(12). Article 124014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5043>

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (2020, April 7). *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*.

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html

Tadić, L., Dadić, & T., Bosak B. (2015). Comparison of different drought assessment methods in continental Croatia. *Gradvinar*, 67(1), 11 – 22. <https://doi.org/10.14256/JCE.1088.2014>

Terzić, J. (2004). Hidrogeoloski odnosi na krškim otocima-primjer otoka Visa. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 16(1), 47 – 58. <https://hrcak.srce.hr/en/broj/749>

- Terzić, J., Peh, Z., & Marković, T. (2010). Hydrochemical properties of transition zone between fresh groundwater and seawater in karst environment of the Adriatic islands, Croatia. *Environmental Earth Sciences*, 59(8), 1629 – 1642. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0146-x>
- Terzić, J., Borović, S., Patekar, M., Pola, M., Frangen, T., Reberski, J. L., Kostović, I. & Bašić, M. (2022a). Hydrogeological Research On The Island Of Vis Over Time And The Most Important Results, In Ujević Bošnjak M. (Ed.) *Proceedings of XXVI. scientific and professional conference*, Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 1. - 4. listopad 2019.
- Terzić, J., Frangen, T., Borović, S., Reberski, J. L., & Patekar, M. (2022b). Hydrogeological Assessment and Modified Conceptual Model of a Dinaric Karst Island Aquifer. *Water*, 14(3), 404. <https://doi.org/10.3390/w14030404>
- Tigkas D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 697 – 709. <https://doi.org/10.1007/s12145-014-0178-y>
- Tomas, D., & Balaž, B. I. (2022). Water reuse as a possibility to reduce climate change impact on water resources. In Ujević Bošnjak M. (Ed.) *Proceedings of XXVI. scientific and professional conference*, 4. – 7. listopada 2022 (Vis)
- Turk, H. (1989). Otok Rab: uvjeti i rezultati turističke valorizacije, Grafički zavod Hrvatske.
- Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije. (2021). *Registar otoka*. <https://registar-otoka.gov.hr/>, 20. 7. 2023
- Vodoopskrba i odvodnja Cres Lošinj d.o.o. (2023). *Vodoopskrbi sustav*. <https://www.vi-ocl.hr/djelatnosti/vodoopskrba/vodoopskrbni-sustav-2>, 20. 7. 2023
- VODOVOD BRAĆ d.o.o. (2023). *Javno djelovanje društva*. <https://vodorov-brac.hr/index.html>, 20. 7. 2023.
- Vodovod i odvodnja otoka Visa d.o.o. (2023). *Dokumenti*, <https://www.vio-otokvis.hr/dokumenti.html>, 20. 7. 2023.
- VRELO d.o.o. (2023). *Vodoopskrbni sustav*. <https://vrelo.hr/razvoj-i-investicije/vodoopskrbni-sustav/>, 20. 7. 2023.

Vlašić, A. (2022, October 4 – 7). Using alternativne sources of water as a response to climate change challenge in sustainable tourism In Ujević Bošnjak M. (Ed.) *Proceedings of XXVI. scientific and professional conference*, 4. – 7. listopada 2022 (Vis).