
**Upravljanje krškim
priobalnim vodonosnicima
ugroženima klimatskim
promjenama (UKV)
(KK.05.1.1.02.0022)**

MONOGRAFIJA PROJEKTA

2023.

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Državni hidrometeorološki zavod

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Hrvatski geološki institut



Urednik:

prof.dr.sc. Ranko Biondić, dipl.ing.geol.

Naslov:

Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV) (KK.05.1.1.02.0022)

MONOGRAFIJA PROJEKTA

Nakladnik:

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

Hallerova aleja 7, Varaždin

Za nakladnika:

dekan izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški, dipl.ing.geol.

Mjesto i godina izdanja:

Varaždin, 2023.

ISBN: 978-953-8066-10-8

Partneri i suradnici na projektu

Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

prof.dr.sc. Ranko Biondić – voditelj projekta

Lucija Plantak, mag.ing.amb. – administratorica projekta

izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

izv.prof.dr.sc. Ivana Grčić

doc.dr.sc. Jelena Loborec

dr.sc. Karlo Leskovar



Hrvatski geološki institut

dr.sc. Josip Terzić – voditelj tima HGI

dr.sc. Jasmina Lukač Reberski

Ivana Boljat, mag.ing.geol.

dr.sc. Ozren Hasan

mr.sc. Martina Šparica Miko



Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci

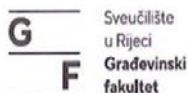
dr.sc. Josip Rubinić – voditelj tima GFRI

doc.dr.sc. Bojana Horvat

izv.prof.dr.sc. Igor Ružić

Maja Radišić, mag.ing.aedif.

Duje Kalajžić



Državni hidrometeorološki zavod

dr.sc. Krešo Pandžić – voditelj tima DHMZ

mr.sc. Melita Perčec Tadić – zamjena voditelja

dr.sc. Ksenija Cindrić Kalin

dr.sc. Ivan Güttler

Željka Klemar, mag.ing.geoph.

dr.sc. Tanja Likso

dr.sc. Dijana Oskoruš

mr.sc. Lidija Srnec

dr.sc. Goran Gašparac (do 25.6.2020.)



Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. PILOT PODRUČJA..... | 5 |
| 2.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik | 5 |
| 2.1.1. Geološki i hidrogeološki opis sliva..... | 5 |
| 2.1.2. Monitoring podzemnih voda..... | 13 |
| 2.2. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu..... | 16 |
| 2.2.1. Geološki i hidrogeološki opis sliva..... | 21 |
| 2.2.2. Monitoring podzemnih i površinskih voda..... | 24 |
| 2.3. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli | 30 |
| 2.3.1. Geološki i hidrogeološki opis sliva..... | 31 |
| 2.3.2. Monitoring podzemnih voda..... | 34 |
| 3. STANJE KLIME I KLIMATSKI MODELI..... | 38 |
| 3.1. Metodologija i preporučena učestalost klimatološkog modeliranja | 38 |
| 3.2. Pilot područje Bokanjac – Poličnik | 40 |
| 3.2.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Zadar | 40 |
| 3.2.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborina | 44 |
| 3.2.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima | 48 |
| 3.3. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu..... | 54 |
| 3.3.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Cres | 54 |
| 3.3.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine | 58 |
| 3.3.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima | 62 |
| 3.4. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli | 68 |
| 3.4.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Vela Luka..... | 69 |
| 3.4.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine | 72 |
| 3.4.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima | 76 |
| 3.5. Odabir klimatskih modela na pilot područjima za hidrološko modeliranje | 82 |
| 4. HIDROLOŠKO PRAĆENJE I MODELIRANJE U ODNOSU NA KLIMATSKE PROMJENE..... | 84 |
| 4.1. Metodologija..... | 84 |
| 4.1.1. Metodologija primjene daljinskih termalnih snimaka u hidrološkim praćenjima istjecanja podzemnih voda..... | 85 |
| 4.1.2. Metodologija hidroloških modeliranja..... | 85 |
| 4.2. Modeliranje bilančnih pokazatelja..... | 88 |
| 4.2.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik | 88 |
| 4.2.2. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.3. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli | 97 |
| 4.3. Modeliranje pojavnosti ekstremnih kratkotrajnih događaja | 101 |
| 4.4. Modeliranje temperature vode | 103 |
| 5. STANJE PODZEMNIH I POVRŠINSKIH VODA U UVJETIMA KLIMATSKIH PROMJENA | 110 |
| 5.1. Rezultati monitoringa podzemnih voda na pilot području Bokanjac – Poličnik | 110 |
| 5.2. Rezultati monitoringa podzemnih i površinskih voda na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu | 117 |
| 5.2.1. Monitoring površinskih voda | 117 |
| 5.2.2. Monitoring podzemnih voda..... | 124 |
| 5.3. Rezultati monitoringa podzemnih voda na pilot području Blatsko polje na otoku Korčuli | 134 |
| 5.3.1. Monitoring dinamike podzemnih voda..... | 134 |
| 5.3.2. Monitoring kakvoće podzemnih voda..... | 140 |
| 5.3.3. Hidrodinamički odnosi slijeva Blatskog polja | 145 |
| 5.3.4. Utjecaj klimatskih promjena na Blatski vodonosnik | 146 |
| 6. RIZICI OD NEGATIVNIH UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA RAZLIČITE SEKTORE | 148 |
| 6.1. Utjecaj klimatskih promjena na sektor vodnog gospodarstva..... | 149 |
| 6.2. Utjecaj klimatskih promjena na sektor zdravstva | 150 |
| 6.3. Utjecaj klimatskih promjena na sektor poljoprivrede..... | 152 |
| 6.4. Utjecaj klimatskih promjena na sektor turizma | 154 |
| 6.5. Analiza korištenja zemljišta | 157 |
| 6.5.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik | 157 |
| 6.5.2. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli | 160 |
| 6.6. Procjena stanja postojećeg korištenja zemljišta geokemijskim analizama..... | 164 |
| 6.6.1. Točke uzorkovanja | 164 |
| 6.6.2. Terenske metode istraživanja | 165 |
| 6.6.3. Laboratorijska istraživanja | 166 |
| 6.6.4. Rezultati analiza | 167 |
| 6.7. Procjena ranjivosti krških vodonosnika..... | 182 |
| 6.7.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik | 183 |
| 6.7.2. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli | 186 |
| 7. MJERE PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA ZA RAZLIČITE SEKTORE | 189 |
| 7.1. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor vodnog gospodarstva | 189 |
| 7.2. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor zdravstva..... | 195 |
| 7.3. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor poljoprivrede | 196 |
| 7.4. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor turizma..... | 199 |
| 8. ZAKLJUČNO..... | 201 |

| | |
|--|-----|
| 9. LITERATURA..... | 203 |
| 10. ISKUSTVA I IMPRESIJE O PROVEDENIM ISTRAŽIVANJIMA | 217 |

1. UVOD

Projekt „Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV)“ (KK.05.1.1.02.0022) usmjeren je na istraživanje utjecaja klimatskih promjena na priobalne krške vodonosnike te predlaganje mjera prilagodbe klimatskim promjenama. Financiran je iz Europskog fonda za regionalni razvoj u sklopu poziva „Jačanje primijenjenih istraživanja za mjere prilagodbe klimatskim promjenama“ kroz Operativni program „Konkurentnost i kohezija 2014.-2020.“. Sam poziv pokrenut je u okviru Prioritetne osi 5 „Klimatske promjene i upravljanje rizicima“.

Klimatske promjene imaju iznimno veliki utjecaj na intenziviranje zaslanjenja i narušavanja labilne dinamičke ravnoteže slatke i slane vode u priobalnim krškim vodonosnicima. Očituju se kroz porast temperature zraka, produljenje sušnih razdoblja, promjenu razine podzemnih voda i mora, povećanje intenziteta oborina, povećano površinsko otjecanje u situacijama pojava velikih voda, smanjenje ukupne vodne bilance, a posebno tijekom razdoblja trajanja malih voda, te smanjenu infiltraciju u podzemne vode. Svi ti utjecaji, posredno ili neposredno, utječu na vodne resurse u priobalnim krškim vodonosnicima, a njihove se posljedice očituju u problemima organizacije i normalnog funkcioniranja javne vodoopskrbe, negativnom utjecaju na poljoprivrednu djelatnost, razvoj turističke djelatnosti i općenito na zdravlje ljudi.

Projekt je podijeljen u nekoliko aktivnosti. Osim aktivnosti „Vođenje projekta“ i „Promidžba i informiranje“, glavne istraživačke aktivnosti su vezane uz razvijanje klimatskih i hidroloških modela, analize rezultata monitoringa površinskih i podzemnih voda, analiza kakvoće površinskih i podzemnih voda te upravljanja rizicima u uvjetima klimatskih promjena.

Projekt UKV obrađuje ove teme kroz tri različita pilot područja:

- Pilot područje sliva Bokanjac – Poličnik kod Zadra
- Pilot područje Blatskog polja na otoku Korčuli
- Pilot područje Vranskog jezera na otoku Cresu

Rezultati projekta UKV su prijedlozi mjera prilagodbe klimatskim promjenama za vodoopskrbni sektor, sektor poljoprivrede, zdravstva i turizma. Za prijedloge mjera prilagodbe klimatskim promjenama za vodoopskrbni sektor nije predviđena zasebna studija, već su prijedlozi mjera sadržani u sklopu ove monografije. Za sektore poljoprivrede, zdravstva i turizma izrađene su zasebne studije naručene u sklopu projekta UKV od strane vanjskih eksperata, a u ovu monografiju preuzeti su sažetci tih studija. To su sljedeće studije:

- Tišma, S., Jelinčić D. A., Boromisa, A.-M., Janković, M. & Tišma, T. (2022): Studija utjecaja klimatskih promjena na turizam.- Institut za razvoj i međunarodne odnose (IRMO), 39 str., Zagreb.
- Tišma, S., Maleković, S., Boromisa, A.-M., Keser, I., Janković, M. & Tišma, T. (2022): Studija utjecaja klimatskih promjena na poljoprivredu.- Institut za razvoj i međunarodne odnose (IRMO), 33 str., Zagreb.
- Vukić Lušić, D. (2022): Studija utjecaja klimatskih promjena na zdravstvo.- 50 str., Rijeka.

Zadano je pet prijedloga mjera kojima se postižu očekivani rezultati projekta UKV: To su:

1. Razrada metodologije i preporučena učestalost klimatološkog modeliranja
2. Promjena metodologije proučavanja priobalnih slivova u svrhu prilagodbe klimatskim promjenama
3. Analiza utjecaja rezultata istraživanja klimatskih promjena na turizam
4. Analiza utjecaja rezultata istraživanja klimatskih promjena na poljoprivredu
5. Analiza utjecaja rezultata istraživanja klimatskih promjena na zdravstveni sektor

Razrada metodologije i preporučena učestalost klimatološkog modeliranja izrađena je kroz zasebnu studiju „Analiza sadašnje klime i projekcije klime za tri pilot područja u jadranskom priobalju i otocima“ izrađenu u sklopu

Aktivnosti 1 projekta UKV (autori po abecednom redu: Cindrić Kalin, K., Güttler, I., Perčec Tadić, M., Srnec, L. & Pandžić, K.) te u sklopu ove monografije.

Promjena metodologije proučavanja priobalnih slivova u svrhu prilagodbe klimatskim promjenama prikazana je ovom monografijom na tri različita pilot područja. Svako od pilot područja zahtijeva, zbog svoje specifične geološke građe te hidrogeoloških i hidroloških uvjeta, djelomično posebni pristup istraživanju problema utjecaja klimatskih promjena na priobalne i otočke vodonosnike. Bitan rezultat projekta je i povećanje znanja o ponašanju zone miješanja slatke i slane vode i mehanizama zaslanjenja priobalnih i otočnih vodonosnika koje se može primijeniti i na druge priobalne i otočne vodonosnike u Dinarskom kršu.

Analiza utjecaja rezultata istraživanja klimatskih promjena na turizam, poljoprivredu i zdravstveni sektor izrađene su kao zasebne studije i njihovi su zaključci i prijedlozi mjera prilagodbe klimatskim promjenama preneseni u završnu monografiju projekta UKV.

Tijekom trajanja projekta UKV, rezultati istraživanja na tri pilot područja, kao i završni rezultati klimatskog modeliranja, prikazani su na radionicama projekta na pilot područjima projekta (Korčula 5. svibnja 2022.; Cres 2. lipnja 2022.; Zadar 4. srpnja 2022.) te na završnoj konferenciji projekta održanoj 23. siječnja 2023. godine u Varaždinu na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Projekt UKV predstavljen je u 14. lipnja 2022. godine u Hrvatskoj akademiji znanosti i umjetnosti na Znanstvenom vijeću za zaštitu prirode pozvanim predavanjima istraživača na projektu (R. Biondić, I. Güttler, K. Pandžić).

U sklopu projekta provedena su istraživanja koja su rezultirala uspješnim obranama dva diplomatska rada:

- D. Vedak, (15.7.2021.): Procjena utjecaja poljoprivredne proizvodnje na podzemne vode sliva Bokanjac – Poličnik korištenjem GIS analize.- Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin;
- A.-M. Radovan (14.7.2021.): Dinamika zone miješanja slane i slatke vode na vodocrpilištu Boljkovac kod Zadra.- Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.

Diplomski rad A.-M. Radovan nagrađen je godišnjom nagradom Hrvatskih voda za najbolji diplomski rad iz drugih područja koja se odnose na vodno gospodarstvo povodom Dana Hrvatskih voda 7. rujna 2021. godine. Isti rad nagrađen je i godišnjom nagradom Rotary Cluba Varaždin u svibnju 2022. godine.

U sklopu projekta UKV provedena su istraživanja i osmišljena je tema doktorske disertacije odobrene 20. svibnja 2022. godine na 13. redovitoj sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu:

- L. Plantak: Dinamika organskoga onečišćenja antibioticima u krškim priobalnim vodonosnicima pod utjecajem intruzije morske vode.

Rezultati projekta prikazani su na nekoliko domaćih i međunarodnih konferencija te objavljeni u znanstvenim časopisima visokog čimbenika utjecaja, stručnim časopisima i znanstvenim knjigama.

Znanstveni radovi:

Plantak, L., Biondić, R., Meaški, H. & Težak, D. (2021): Hydrochemical indicators analysis of seawater intrusion in coastal karstic aquifers on the example of the Bokanjac – Poličnik catchment area in Zadar, Croatia.- Applied sciences, 11, 11681, DOI: 10.3390/app112411681.

Biondić, R., Plantak, L., Radovan, A.-M. & Meaški, H. (2022): Saltwater intrusion of coastal karstic aquifer on the example of the Boljkovac water supply pumping station near Zadar, Croatia.- Quaternary, 5, 36, DOI: 10.3390/quat5030036.

Perčec Tadić, M., Pasarić, Z. & Guijarro, J.A. (2022): Croatian high-resolution monthly gridded dataset of homogenised surface air temperature.- Theoretical and applied climatology, 1, 1-23 DOI:10.1007/s00704-022-04241-y.

Patekar, M., Baniček, I., Rubinić, J., Lukač Reberski, J., Boljat, I., Selak, A., Filipović, M. & Terzić, J. (2021): Assessing Climate Change and Land-Use Impacts on Drinking Water Resources in Karstic Catchments (Southern Croatia).- Sustainability, 13 (2021), 9; 5239, 20, DOI:10.3390/su13095239.

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 (2020), 1975-1988.

Stručni radovi:

Cindrić Kalin, K., Gúttler, I., Perčec Tadić, M. & Srnec, L. (2022): Klimatske promjene na području krških priobalnih vodonosnika.- Hrvatska vodoprivreda, 240, 51-57.

Međunarodne i domaće konferencije:

Lukač Reberski, J., Terzić, J., Bojat, I., Rubinić, J., Radišić, M., Hasan, O., Šparica Miko, M. & Selak, A. (2022): Utjecaj klimatskih promjena na vodonosnik Blatskog polja u zapadnom dijelu otoka Korčule.- XXVI. znanstveno-stručni skup „Voda i javna vodoopskrba“, Ujević Bošnjak, M. (ur.), Hrvatski zavod za javno zdravstvo.

Biondić, R., Meaški, H., Francetić, L. & Tošić, I. (2022): Groundwater quality of the Bokanjac – Poličnik catchment area near Zadar, Croatia.- International Scientific Conference „Man and Karst 2022“, 12.-17.2022., Custonacy, Italija.

Leskovar, K., Loborec, J., Biondić, R. & Meaški, H. (2022): Land cover and land use analysis during climate change for coastal karst catchment area in Zadar County, Croatia.- International Scientific Conference „Man and Karst 2022“, 12.-17.2022., Custonacy, Italija.

Radišić M., Horvat, B., Klemar, Ž., Pekaš, Ž. & Rubinić, J. (2022): Impact of hydrological conditions on the regime of groundwater salinization in water abstraction sites in the Bokanjac – Poličnik area near Zadar.- International scientific Conference Man and Karst, Sep. 12-17 2022, Custonaci, Italija.

Loborec, J., Biondić, R., Vedak, D. & Meaški, H. (2022): Utjecaj poljoprivredne proizvodnje na podzemne vode u slivnom području Bokanjac – Poličnik.- 9. međunarodna konferencija „Voda za sve 2022“, 19.-20.5.2022., Osijek.

Rubinić, J. & Radišić M. (2022): Adaptivno upravljanje vodama u uvjetima klimatskih promjena i njima uvjetovanih povećanih rizika pojava katastrofalnih suša i velikih voda.- 15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija 9-11.6.2022. Hrvatska komora građevinskih inženjera, Zagreb.

Tadić, L. & Rubinić, J. (2022): Hidrološka suša vodnih resursa - ocjena stanja i prognoze.- Okrugli stol Aktualni izazovi razvoja hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj, Biondić, D. & Holjević, D. (ur.), Poreč: Hrvatske vode, Zagreb, str. 47-56.

Poglavlje u knjizi:

Vukić Lušić, D., Maestro, D., Cenov, A., Radišić, M., Lušić, D., Glad, M., Linšak, Ž., Maestro, N., Tomić Linšak, D. & Rubinić, J. (u postupku objavljivanja): The impact of climate change on water resources and human health – examples from Croatia and Bosnia and Herzegovina.- Climate Change and Health Hazards (eds. Filho WL, Vidal DG, Pimenta Dinis MA). Springer. (<https://link.springer.com/book/9783031265914>).

DIONICI NA PROJEKTU:

- Vodovod d.o.o., Zadar
- Vodovod i odvodnja Cres – Lošinj d.o.o., Cres
- Vodovod d.o.o., Blato
- Grad Zadar
- Grad Cres
- Grad Lošinj
- Općina Blato
- Hrvatske vode
- OTRA – Otočka razvojna agencija, Cres
- Zavod za javno zdravstvo Zadar
- Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Rijeka
- Zavod za javno zdravstvo Dubrovačko-neretvanske županije, Dubrovnik
- Hrvatsko meteorološko društvo
- Hrvatsko hidrološko društvo
- Hrvatsko društvo za zaštitu voda
- Hrvatsko geološko društvo
- Hrvatska udruga za sanitarno inženjerstvo

Zahvala

Zahvaljujemo se svim dionicima na projektu za izvrsnu suradnju i korisne sugestije. Posebnu zahvalu upućujemo djelatnicima i Upravama Vodovoda Blato d.o.o., Vodovodu i odvodnji Cres – Lošinj d.o.o. te Vodovodu d.o.o. iz Zadra na višegodišnjoj podršci našim istraživanjima i brojnim ustupljenim podacima. Također, u sklopu provedenih istraživanja za potrebe projekta UKV korišteni su rezultati brojnih elaborata i studija vezanih uz zaštitu i korištenje vodnih resursa, koji su financirani od strane Hrvatskih voda i komunalnih društava te im ovim putem upućujemo veliku zahvalu.

Rezultati prikazani u sklopu istraživanja Blatskog polja su djelomično rezultat i ranijih istraživanja izvedenih na ovom području (CC-WaterS – EU fond, SEE-TC; Hrvatske vode; Općina Vela Luka; Hrvatske vode) te istraživanja financirana dijelom vlastitim sredstvima Hrvatskog geološkog instituta.

2. PILOT PODRUČJA

Hrvatska pripada grupi mediteranskih zemalja s prostranim krškim područjima. U Hrvatskoj, krška područja su vezana pretežito za geološke strukture Dinarida te se može reći da oko 50% teritorija Republike Hrvatske pripada krškim područjima Dinarida. Značaj krških vodonosnika za Hrvatsku je neprocjenjiv, a pogotovo je to izraženo u priobalnim područjima i na otocima (Biondić, B. & Biondić, R., 2014). Projektom UKV odabrana su tri karakteristična krška vodonosnika na kojima se već sada opažaju znakovi pogoršanja hidroloških prilika i intenziviranja pojava zaslanjivanja njihovog krškog vodonosnika (područje Zadra i Blata na Korčuli) ili se pak procjenjuje da postoje negativni trendovi koji povećavaju rizik neželjenih promjena kod Vranskog jezera na otoku Cresu. To su karakteristični priobalni ili otočni vodonosnici te se rezultati istraživanja provedenih na ovim pilot područjima konceptualno i metodološki mogu primjenjivati i na drugim priobalnim područjima u Dinarskom kršu. Također, provedenim monitoringom osigurane su i praktičke podloge za operativno upravljanje analiziranim vodnim resursima te prognoza mogućih kritičnih stanja na različitim vremenskim skalama nužnim za upravljanje i zaštitu vodnim resursima i uz to vezanim sektorima.

2.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik

Pilot područje Bokanjac – Poličnik nalazi se u zaleđu grada Zadra, u zaravnjenom području između Ninskog i Ljubačkog zaljeva na sjeverozapadu do Gornjeg i Donjeg Zemunika. Slivu pripada i obalno područje od uvale Ljubač, preko Nina do Zadra, a ukupna površina sliva iznosi oko 203 km². Morfološki je to blago valoviti teren kao posljedica boranih struktura dinarskog smjera pružanja, a nadmorske visine se kreću od razine mora do oko 120 m n.m.

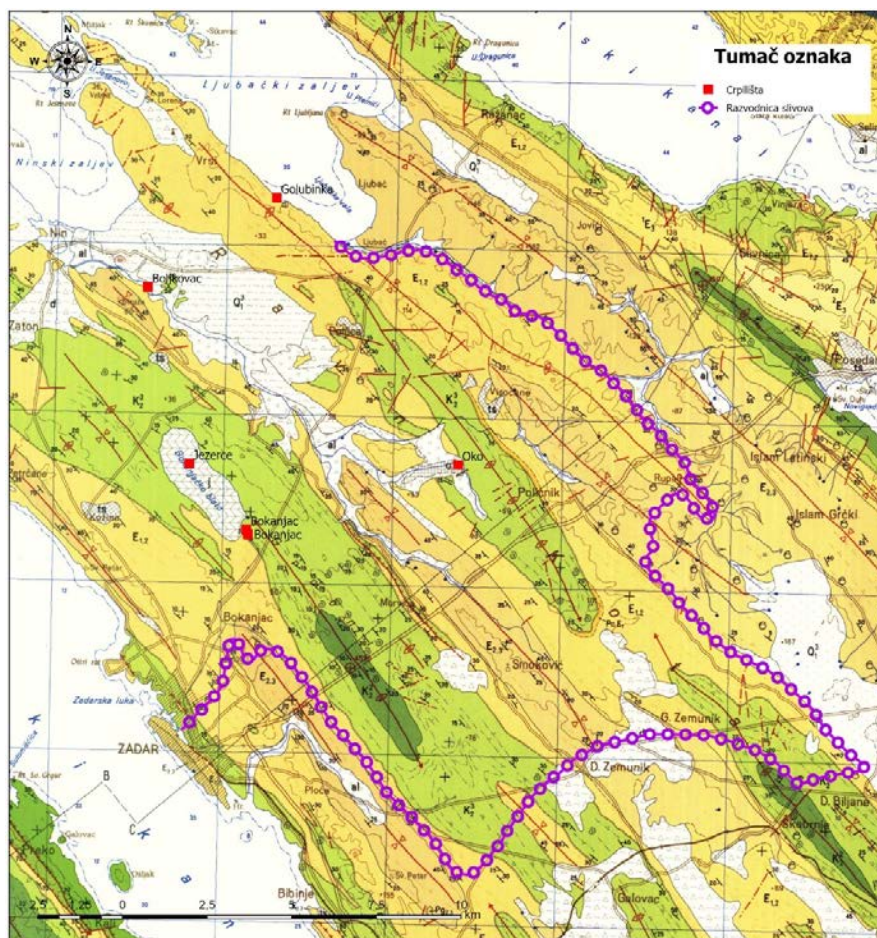
Područje istraživanja predstavlja tijelo podzemne vode (TPV) Bokanjac – Poličnik koje je izdvojeno za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 66/16). Prema analizama kakvoće i količina podzemnih i površinskih voda TPV Bokanjac – Poličnik je Planom upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. proglašeno da se nalazi „u lošem stanju“, kao i u kategoriji „u riziku“ zbog problema sa zaslanjenjem dijela ovog priobalnog vodonosnika te je sukladno tome proveden operativni monitoring (Biondić et al., 2019). U sklopu istraživanja za potrebe operativnog monitoringa izvedene su četiri piezometarske bušotine, od kojih su tri korištene za potrebe uspostave monitoringa podzemnih voda u sklopu projekta UKV.

2.1.1. Geološki i hidrogeološki opis sliva

2.1.1.1. Geološki opis

Slivno područje Bokanjac – Poličnik je formirano u karbonatnim stijenama Jadranske karbonatne platforme s karakterističnom boranom strukturom, u kojoj se na površini terena izmjenjuju vodopropusne karbonatne stijene i vodonepropusni klastiti. Na području istraživanja najstarije izdvojene naslage su rudistni vapnenci turonske starosti (K₂²). U vrijeme taloženja tih naslaga, Jadranska karbonatna platforma je već bila izdiferencirana, neki su njeni dijelovi okopnjeli, a na nekima su i dalje vladali plitkomorski taložni uvjeti. Tek krajem krede karbonatna je platforma gotovo potpuno emergirana (Matićec, 2009).

Tektonska slika na slivu Bokanjac – Poličnik je relativno jednostavna. Radi se o nizu bora dinarskog smjera prostiranja s karbonatnim stijenama u antiklinalnom dijelu i fliškim naslagama u sinklinalnim dijelovima bora. Na području Bokanjačkog blata relativno jednostavne borane forme prate dijagonalni rasjedi na sjeveroistočnim rubovima boranih struktura, važni za stvaranje barijera kretanju podzemne vode. Niz antiklinalnih i sinklinalnih struktura karakteriziraju različiti kutovi nagiba slojeva, sekundarno boranje, tonjenje osi bora, promjenjiva širina izdanaka te varijacije u sastavu krila i jezgara bora.



Slika 2.1-1. Isječak iz lista Osnovne geološke karte M1:100.000 – list Zadar (Majcen et al., 1969) s označenim granicama sliva i vodoopskrbnim objektima

Najstarije stijene registrirane na području TPV Bokanjac – Poličnik su **rudistni vapnenci turonske starosti (K_2^2)** (Slika 2.1-1). Na području Ravnih kotara ove se naslage nalaze u najstarijim dijelovima antiklinala. Taložene su u relativno mirnim uvjetima sedimentacije grebenskog i subgrebenskog područja. Djelomično se naslage gustog, kompaktnog vapnenaca izmjenjuju lateralno i vertikalno s naslagama dolomita što je uvjetovano promjenom fizičko-kemijskih uvjeta u sedimentacijskoj sredini. Debljina slojeva je između 20 i 60 cm, a ukupna debljina naslaga turonske starosti se procjenjuje na oko 470 m (Majcen et al., 1967).

Na vapnence turonske starosti kontinuirano su taloženi **vapnenci senonske starosti (K_2^3)**. Radi se o dobro uslojenim rudistnim vapnencima, debljine slojeva od 20 do 120 cm s mjestimičnom pojavom pločastih vapnenaca. Plitko školjkastog je loma, gust i kompaktno s mjestimično naglašenom laminacijom. Taložen je u mirnoj sredini sa litoralno-neritskim obilježjem. Prema vršnom dijelu senona vapnenac postaje bijel, jedar i slabo uslojen, najprije zahvaćen erozijom, a zatim i transgresijom paleogenskih naslaga. Ukupna debljina ovog litološkog člana je oko 370 m (Majcen et al., 1967).

Naslage paleogene starosti započinju pločastima, tanko uslojenim vapnencima **tzv. Liburnijskim naslagama (Pc, E_1)**, transgresivno taloženima na rudistnim vapnencima senonske starosti. Radi se o smeđim, žućkastim i crvenkastim gustim vapnencima glatkog školjkastog loma. Transgresivna granica je označena visokim stupnjem erozije rudistnih vapnenaca s rijetkim pojavama boksita te visokim stupnjem raspucanosti vapnenaca. Sa mlađim naslagama je potpuna konkordancija i kontinuitet. Debljina ovih naslaga se procjenjuje na oko 20 m (Majcen et al., 1967).

Foraminiferski vapnenci ($E_{1,2}$) su transgresivno taloženi na gornjokredne naslage, a kontinuirano na Liburnijske naslage. Sastoje se od miliolidnih, alveolinskih i numulitnih vapnenaca te prijelaznih naslaga u klastite srednjeg

eocena. Nazivi foraminiferskih vapnenaca su vezani za prevladavajuće kolonije foraminifera. Najniži horizont su miliolidni vapnenci, na njima slijede slojevi s alveolinama, a na njima slojevi puni numulita. Završni član prijelaznih naslaga prema klastitima fosilno znatno osiromašuje uz povećanje udjela laporovite komponente u litološkom sastavu. Foraminiferski vapnenci su detritični, žuto-smeđe do svijetlosive boje, neravnog loma. Uslojeni su, ali je slojevitost samo mjestimice dobro vidljiva, a češće je zbog trošenja i okršenosti naslaga prikrivena. Debljina ovih naslaga iznosi do 330 m (Majcen et al., 1967).

Na foraminiferske vapnenice kontinuirano su taložene **fliške naslage (E_{2,3})**. Sastoje se od lapora i pješčenjaka u izmjeni, a u mlađim dijelovima i konglomerata. Najmlađi su član kontinuiranog slijeda taloženja paleogenskih naslaga, a na njima nema očuvanih mlađih naslaga sve do kvartarnih naslaga. Ove su naslage raspostranjene na području Ravnih kotara tvoreći sinklinalne dijelove boranih struktura. Zbog trošnosti materijala područja izgrađena od ovih naslaga su uglavnom niži dijelovi reljefa i to najčešće prekriveni kvartarnim naslagama što im dodatno otežava vidljivost na površini terena. Debljina ovog kompleksa naslaga se procjenjuje na oko 900 m (Majcen et al., 1967).

U širem prostoru Ravnih kotara nakon taloženja naslaga fliša eocenske starosti nastupa faza izuzetnih erozijskih procesa i stvaraju se ogromne mase materijala trošenja, koje se talože kao tzv. Prominske naslage – konglomerati, lapori, vapnenačke breče i dr. Njihova geološka starost se ocjenjuje kao prijelaz iz gornjeg eocena u oligocen. To je vrijeme izuzetne tektonske aktivnosti, pa izduženi bazeni taloženja sele u središnji dio Dinarida u Ravne kotare.

Prestankom taloženja fliša i Prominskih naslaga prestaje marinska sedimentacija na karbonatnoj platformi Dinarida i započinje razdoblje kvartara, razdoblje intenzivnih površinskih erozijskih procesa, okršavanja velike mase karbonatnih stijena, pronosa rastrošenog materijala prema depresijama tadašnjeg reljefa i stvaranja današnje mreže površinskih i podzemnih tokova (Biondić et al., 2019). Tijekom kvartara došlo je do sedimentacije rastrošenog materijala u morfološkim depresijama i to je vrlo izraženo na području Ravnih kotara zbog specifičnog reljefa. Ta sedimentacija traje i danas.

U okolici Nina taloženi su **pijesci (Q₁³)** koji nose obilježja svojstvena sedimentu tipa lesa ili prapora. Okarakterizirani su sortiranjem, koje je odraz intenzivnog kretanja zračnih struja, kao i heterogenim interkalacijama što je rezultat periodične intenzivne erozije izdignutog reljefa i miješanja s lokalnim materijalom. Debljina ovih pijesaka se procjenjuje do 12 m (Majcen et al., 1967).

Naslage **crvenice (ts)** raspostranjene su na čitavom području istraživanja. Relativno su male debljine te čak ne pokrivaju niti sve primarne izdanke. Nastaju hidrokemijskim procesima destrukcije karbonatnih naslaga čiji je netopiv ostatak snašan i nagomilavan u depresijama reljefa. Trošenjem klastičnih naslaga, crvenici je često znatno povećan i postotak teških minerala (Majcen et al., 1967).

Jezerski i barski sedimenti (j) razvijeni su na području sliva Bokanjac – Poličnik na području Bokanjačkog blata. Radi se o pretežno sivoj muljevitoj ilovini mjestimice prekrivenoj crnim masnim humusom.

Deluvijalne naslage (d) nastaju trošenjem površinskog dijela podinskih naslaga, a sastoje se od kršja i ulomaka vapnenaca, trunja klastita pomiješanih sa crvenicom i humusom. Obično je taložen vrlo blizu samom mjestu trošenja bez znatnog transporta. Relativno je male debljine te iz njega znaju viriti izdanci primarnih stijena. Njegova debljina mjestimice doseže i nekoliko metara. Većim dijelom su to obradive površine na kojima se razvija poljoprivreda (Majcen et al., 1967).

Aluvijalne naslage (al) predstavljaju nanos koji se taloži uz jače tokove. Nastao je trošenjem primarnih stijena te klastičnih naslaga, kao i pretaloženjem kvartarnih naslaga deluvija i crvenice. Na području sliva Bokanjac – Poličnik te vste naslaga taložene su uz vodotok Miljašić jaruga.

2.1.1.2. Hidrogeološki opis

Organizirana vodoopskrba na području sliva Bokanjac – Poličnik započela je u I. stoljeću n.e. izgradnjom gravitacijskog cjevovoda Biba-Jader od izvora Biba kod Vranskog jezera do Zadra kapaciteta 57 L/s. Krajem I. stoljeća n.e. izgrađen je i municipalni akvadukt Boljkovac-Nin, dužine 3500 m, kapaciteta 91 L/s kojim se opskrbljivalo vodom područje Boljkovca i gradskog područja Nina. Rimski akvadukti na širem području grada Zadra predmet su brojnih arheoloških istraživanja i radova (Alačević, 1898; Ilakovac, 1982; Marasović et al., 2016; Miletić, 2017; Štefanec, 2021), a dovodili su pitku vodu od izvora do gradskih središta.

Sljedeći zapisi o proširenju organizirane vodoopskrbe sežu u kraj 19. stoljeća kada je od izvora Botina do Zadra izgrađen gravitacijski cjevovod od kamenih cijevi dužine 4278 m kojim se voda provodila do cisterni (Pet bunara – 2800 m³; Zeleni trg – 616 m³; Tri bunara – 864 m³) iz kojih se voda posudama raznosila za osobne potrebe stanovnika. Tijekom sušnih razdoblja te količine nisu bile dostatne za potrebe opskrbe vodom stanovnika grada Zadra pa se krenulo u vodoistražne radove i 1902. izgrađen je vodovod Bokanjačko blato – Zadar s bunarima 1 i 2 (ukupno 27 L/s). U razdoblju od 1910. do 1932. godine izgrađen je bunar 3 s posebnom crpnom stanicom kapaciteta 23,6 L/s te bunar 4 (između bunara 2 i 3) kapaciteta 40 L/s. Bunar 5 je izgrađen 1957. godine, a kapaciteta je 160 L/s. Izvor Jezerce uključen je u vodoopskrbni sustav 1966. godine s kapacitetom 40-160 L/s, a zahvat Boljkovac je izgrađen 1972. godine s kapacitetom 40-80 L/s.

Izgradnja hidrotehničkog tunela Bokanjačko blato – Miljašić jaruga pokrenuta je iz razloga dreniranja područja Bokanjačkog blata i otvaranja mogućnosti korištenja tog područja za poljoprivredne potrebe. Za potrebe izgradnje tog tunela provedena su brojna istraživanja (Krulc, 1954; Pauković et al., 1955; Crnolatac, 1961; Svetličić, 1961).

Na području sliva rađena su u zadnjih šezdesetak godina brojna hidrogeološka i geološka istraživanja. Hidrogeološke odnose na širem području Bokanjačkog blata obradili su Fritz & Pavičić (1965). Detaljno geološko kartiranje na istom području provedeno je 1968. godine (Fritz, 1968). U razdoblju od 1965. do 1968. godine provedeni su vodoistražni radovi sa istražnim bušenjem, mjerenjem VDP-a i saliniteta i mjerenjem vodostaja (Franić, 1965-1968). Cjelokupno područje sliva obrađeno je hidrogeološkom studijom Ravnih kotara i Bukovice (Fritz, 1976).

Radovi na izgradnji injekcijske zavjese započeli su 1974. godine (Elektroprojekt, 1974; Fritz & Pavičić, 1975). Hidrogeološka studija područja Zadra i elaborat o učinku injekcijske zavjese izrađeni su 1994. godine (Žugaj & Batić, 1994). Iste godine Žugaj (1994) izrađuje hidrološku studiju istoga područja.

Tijekom Domovinskog rata, zbog okupacije zahvata na rijeci Zrmanji i prekida Regionalnog vodovoda dodatno je zahvaćen izvor Golubinka (1993. godine) i vodocrpilište Oko (1995. godine).

Zaštita podzemnih voda na području sliva Bokanjac – Poličnik pokrenuta je 1994. godine izradom prijedloga zaštitnih zona izvorišta vode za piće (Fritz et al., 1994). Omogućavanjem provođenja mikrozoniranja (detaljnih hidrogeoloških istraživanja) za potrebe pokretanja bilo kakve gospodarske aktivnosti u područjima zona sanitarne zaštite proveden je cijeli niz detaljnih istraživanja na slivu (Pavičić & Terzić, 2006; Pavičić, 1999; Munda et al., 2006; Munda et al., 2007; Munda, 2007; Pavičić & Terzić, 2008).

Za potrebe odvodnje autoceste Zagreb-Split izrađena su hidrogeološka istraživanja (Kapelj & Braun, 1997; Kapelj et al., 1999, 2001, 2004).

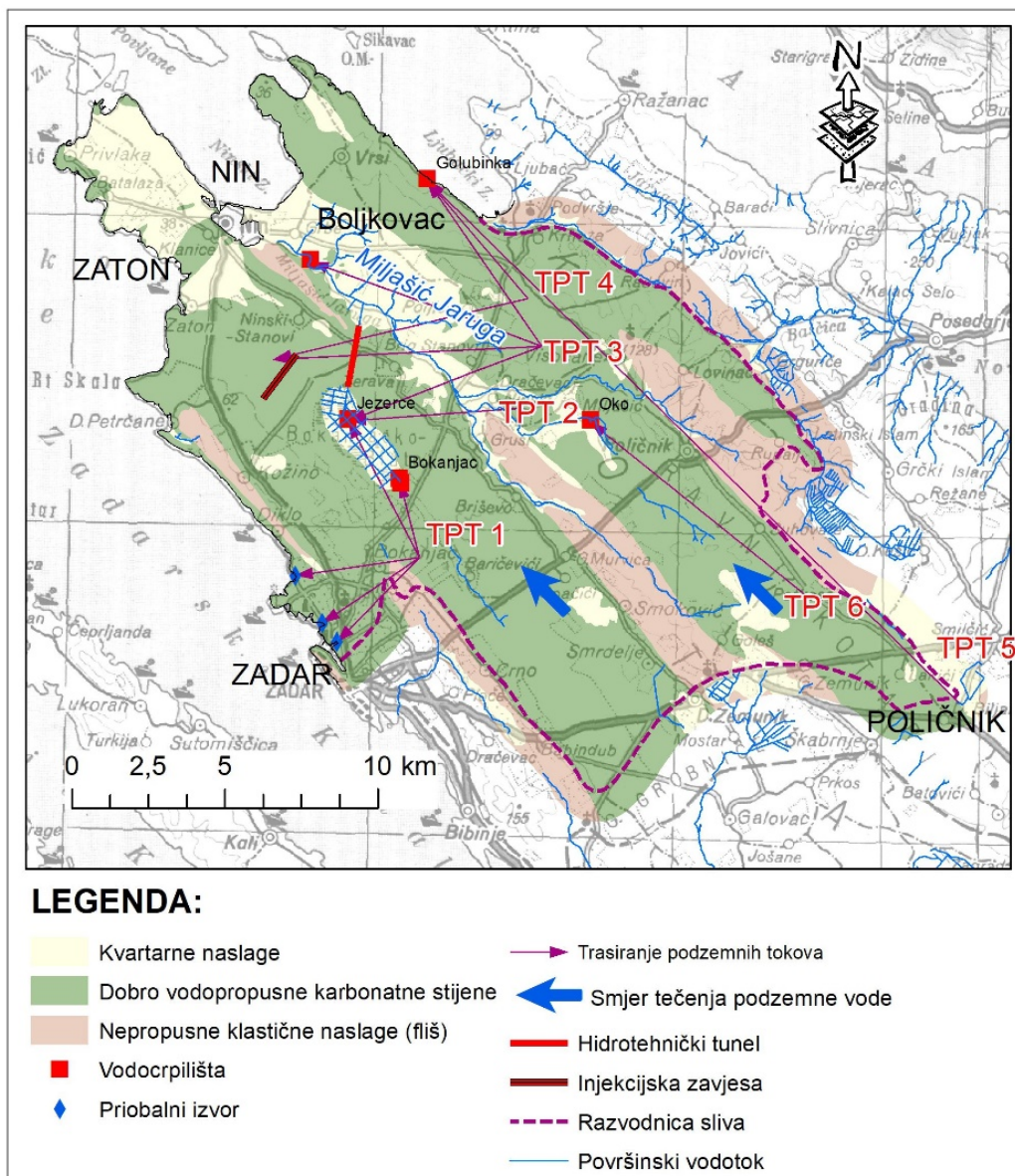
Mogućnost zahvata vode u špilji Golubinka obrađuje se u sklopu kompleksnih hidrogeoloških, speleoloških i geofizičkih istraživanja (Boljat, 2005).

U sklopu projekta CC-WaterS, područje sliva Bokanjac – Poličnik bilo je jedno od pilot područja na kojem je istraživana utjecaj klimatskih promjena na vodoopskrbne sustave (HGI, 2011).

Za potrebe noveliranja zona sanitarne zaštite izvršena je reinterpretacija dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja na slivu Bokanjac – Poličnik (Terzić & Lukač Reberski, 2012). Novelacija zaštitnih zona izrađena je 2013. godine (Terzić & Lukač Reberski, 2013).

Za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima 2013.-2015. (Hrvatske vode, 2013) izrađena je hidrogeološka studija s procjenom stanja i rizika krških vodonosnika (Biondić et al., 2009) kojom je područje sliva Bokanjac – Poličnik postavljeno kao dio TPV Ravni kotari i označeno lošim stanjem i u kategoriji u riziku. Za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 66/2016) izrađena je novelirana hidrogeološka studija s procjenom stanja i rizika krških vodonosnika (Biondić et al., 2016) kojom je područje sliva Bokanjac – Poličnik postavljeno kao zasebno TPV Bokanjac – Poličnik i označeno lošim stanjem i u kategoriji u riziku. Za područje TPV Bokanjac – Poličnik propisana je tada potreba provođenja operativnog monitoringa koji je proveden u razdoblju od 2016. do 2019. godine (Biondić et al., 2019). U sklopu operativnog monitoringa izvedene su četiri nove piezometarske bušotine na području sliva u kojima je uspostavljen monitoring vodonosnika po dubini.

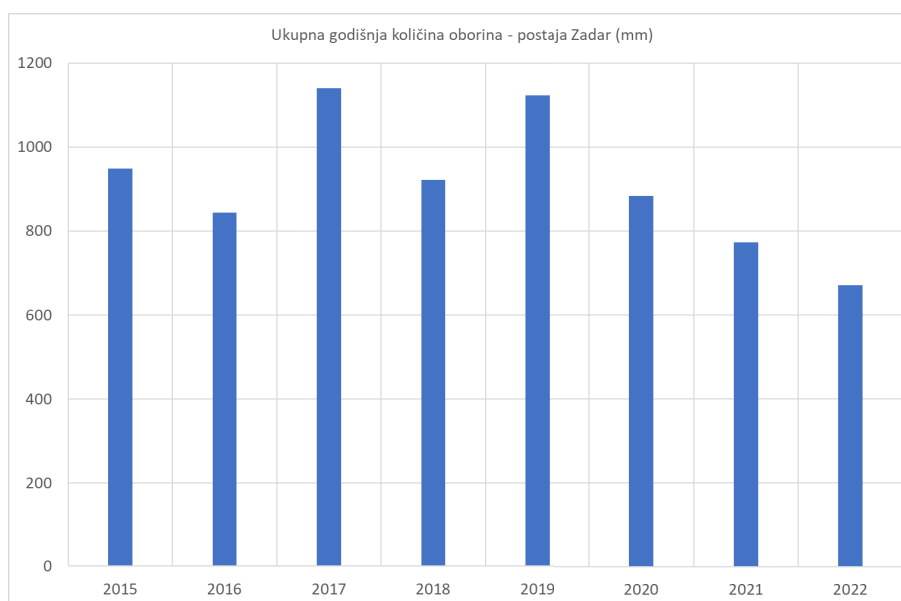
Slivno područje Bokanjac – Poličnik karakterizira geološka građa u kojoj se u bočnom smjeru izmjenjuju vodopropusne karbonatne stijene i vodonepropusne klastične naslage (Slika 2.1-2). Debljina flišnog kompleksa procjenjuje se na nekoliko stotina metara, ali je na velikom dijelu slivnog područja erodirana i znatno stanjena.



Slika 2.1-2. Hidrogeološka karta sliva Bokanjac – Poličnik

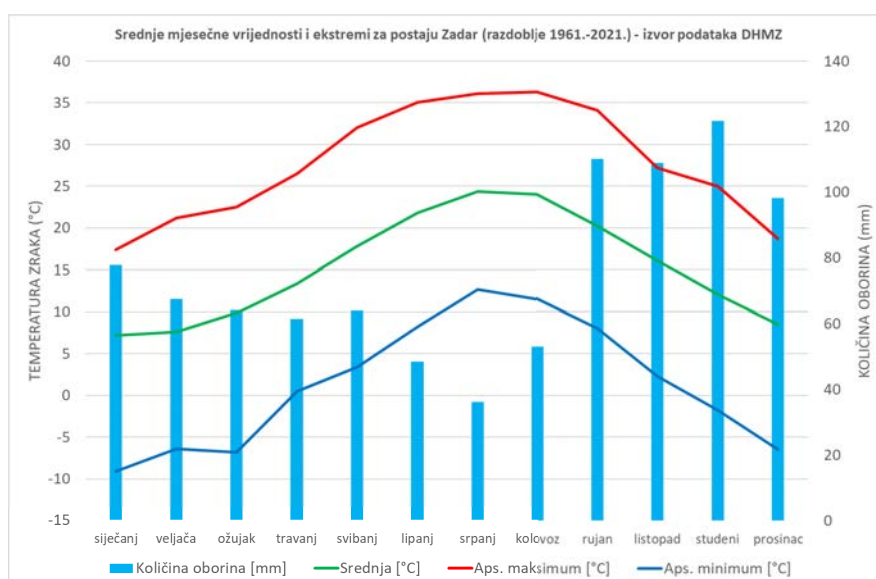
U uzvodnom dijelu sliva naslage fliša predstavljaju hidrogeološku barijeru i razdvajaju sliv na dva glavna pravca toka, dok je u nizvodnom dijelu sliva debljina fliša znatno smanjena, odnosno potpuno je erodirana. Tokovi podzemnih voda javljaju se u vodopropusnim karbonatnim stijenama koje su okršene znatno dublje od trenutne razine mora. Takvo okršavanje rezultat je promjena razine mora tijekom razdoblja kvartara. Od posljednjeg ledenog doba razina mora porasla je za stotinjak metara (Šegota, 1968), što je uzrokovalo procese okršavanja i stvaranje sustava pukotina koji su znatno dublji od današnje razine mora. Kvartarne naslage, iako se na određenim dijelovima sliva talože se na velikoj površini, zbog svoje ograničene dubine nemaju značajan utjecaj na hidrogeološke uvjete u slivu.

Ukupna godišnja količina oborina na slivu Bokanjac – Poličnik iznosi između 900 i 1000 mm za razdoblje 1971. do 2000. godine (Zaninović et al., 2008). U razdoblju trajanja projekta UKV izmjerene su nešto manje količine oborina na postaji Zadar: 2020. godine 882,8 mm, 2021. godina 772,1 mm te 2022. godine svega 671,2 mm (Slika 2.1-3).



Slika 2.1-3. Ukupna godišnja količina oborina na postaji Zadar (izvor: meteo.hr)

Na postaji Zadar najniže vrijednosti srednjih mjesečnih količina oborina za razdoblje od 1961. do 2021. zabilježene su tijekom srpnja (36,1 mm), lipnja (48,5 mm) i kolovoza (53,0 mm) nakon kojih započinje kišno razdoblje (rujan 110,1 mm; listopad 108,9 mm, studeni 121,7 mm) (Slika 2.1-4).



Slika 2.1-4. Srednje mjesečne vrijednosti i ekstremi za postaju Zadar (razdoblje 1961.-2021.) (izvor: meteo.hr)

U istom razdoblju, srednja mjesečna temperatura zraka je bila najviša u srpnju (24,4 °C) i kolovozu (24,0 °C) dok su maksimalno izmjerene temperature zraka izmjerene u srpnju (36,1 °C; 22.7.2015.) i kolovozu (36,3 °C; 4.8.2017.). Izmjereni minimumi su iznosili -9,1 °C (23.01.1963.) te -6,5 °C (28.12.1996.) (Slika 2.1-4).

Na području sliva Bokanjac – Poličnik nalaze se sljedeća vodocrpilišta: Boljkovac, Bokanjac, Jezerce, Oko i Golubinka (Slika 2.1-5). Od navedenih vodocrpilišta, istraživanjima u sklopu projekta UKV obuhvaćena su vodocrpilišta Bokanjac (zdenca B-4 i B-5), Jezerce i Boljkovac.

Bokanjac je najstarije vodocrpilište, koje se sastoji od 5 zdenaca od kojih su samo dva u upotrebi (B-4 i B-5). Aktivnosti crpljenja za potrebe javne vodoopskrbe Grada Zadra su na lokaciji Bokanjac započele još 1901. izgradnjom zdenca B-1. Danas aktivni zdenca B-4 i B-5 izgrađeni su znatno kasnije (B-4 – 1949. godine; B-5 – 1961. godine). Zdenac B-4 (Slika 2.1-6 - lijevo) promjera je 3 m, dubine 18,5 m prosječnog kapaciteta crpljenja oko 100 l/s dok je zdenac B-5 (Slika 2.1-6 - desno) promjera 4,85 m, dubine 17,6 m te maksimalnom količinom crpljenja od 250 l/s (Biondić et al., 2019). Zbog nešto manje dubine, zdenac B-5 presušuje povremeno tijekom ljetnih sušnih mjeseci kada su razine podzemnih voda niže.



Slika 2.1-5. Zdenca B-4 (lijevo) i B-5 (desno) na vodocrpilištu Bokanjac



Slika 2.1-6. Vodocrpilište Jezerce (lijevo) i vodocrpilište Boljkovac (desno)

Vodocrpilište Jezerce (Slika 2.1-6 - lijevo) izgrađeno je na istoimenoj estaveli u središnjem dijelu Bokanjačkog blata, između zdenaca vodocrpilišta Bokanjac i morske obale. Dubine je 14,5 m, a izgrađen je 1969. godine. Iako su u zdenac ugrađene tri crpke ukupnog kapaciteta od 400 l/s, tijekom ljetnih sušnih razdoblja kapacitet mu pada na oko 90 l/s (Kaleb et al., 2005; Terzić & Lukač Reberski, 2013). Na vodocrpilištu su stalno prisutne blago povišene vrijednosti električne vodljivosti u odnosu na uzvodne dijelove ovog krškog vodonosnika što se tumači kontinuiranim blagim utjecajem zaslanjenja.

Vodocrpilište Boljkovac (Slika 2.1-6 - desno) kopani je zdenac izgrađen 1972. godine na istoimenom izvoru u blizini vodotoka Miljašić jaruga. Dubine je 5,75 m, a u njega su ugrađene crpke kapaciteta 100 l/s. Na crpilištu je stalno povišena vrijednost električne vodljivosti kao posljedica utjecaja mora, ali se te vrijednosti kreću unutar maksimalno dozvoljenih vrijednosti za pitke vode. Najveća zaslanjenja događaju se tijekom jakih kišnih razdoblja što se tumači ispiranjem dubljih i jače zaslanjenih krških sifona (Terzić & Lukač Reberski, 2013; Biondić et al., 2022).

Za određivanje slivnog područja i smjerova toka podzemnih voda u posljednjih 55 godina obavljeno je šest trasiranja podzemnih tokova (Slika 2.1-2). Prvo trasiranje u slivu (TPT-1) obavljeno je 1966. godine s dokazivanjem povezanosti podzemne vode s crpilištem Bokanjac (prividna brzina podzemne vode 1 cm/s) i s crpilištem Jezerce (3,2 cm/s). Također, dokazana je povezanost s obalnim izvorima i vodoopskrbnim mjestima na širem području Zadra, ali bez podataka o prividnim brzinama podzemnih voda. Sljedeće trasiranje podzemnih tokova (TPT-2) obavljeno je 1967. godine s područja nizvodno od crpilišta Oko, čime je dokazana povezanost podzemnih voda s crpilištem Jezerce (2,9 cm/s). Trasiranje TPT-3 izvedeno je 1968. godine i njime je dokazana veza podzemnih voda na crpnu stanicu Jezerce (1,1 cm/s), na piezometarsku bušotinu u području injekcijske zavjese (2,3 cm/s), na crpnu stanicu Boljkovac (1,1 cm/s) i do izvora Golubinka (0,5 cm/s). Trasiranje TPT-4 izvedeno je 1968. godine i njime je dokazana povezanost podzemne vode s piezometrom u području injekcijske zavjese (1,4 cm/s) i s izvorom Golubinka (1,4 cm/s). Jedino pravo regionalno trasiranje podzemnih tokova na području sliva Bokanjac – Poličnik (TPT-5) izvedeno je 1975. godine s jugoistočnog dijela slivnog područja. Traser je injektiran na širem području Poličnika te je dokazana povezanost podzemne vode s izvorom Golubinka (8,1 cm/s). Za potrebe istraživanja lokacije budućeg Centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije, 2007. godine provedeno je trasiranje podzemnih tokova (TPT-6). Traser se pojavio na vodocrpilištu Oko (2,5 cm/s).

Pravci toka podzemne vode u slivu Bokanjac – Poličnik su paralelni ili subparalelni s geološkim strukturama u smjeru jugoistok-sjeverozapad u dva odvojena dijela ili toka, što je dokazano trasiranjem. Prvi tok je na sjeveroistočnoj strani fliške barijere od Poličnika prema sjeverozapadnoj strani slivnog područja prateći geološke strukture. Glavnina podzemne vode ovog vodotoka otječe prema obalnom izvoru Golubinka i crpnoj stanici Boljkovac. Tek nakon zone gdje završava fliška barijera, podzemna voda teče i okomito na prostiranje struktura, prema crpilištu Jezerce. Drugi tok je prema Bokanjačkom blatu i dalje prema Boljkovcu te prema sjeverozapadnom dijelu sliva gdje podzemne vode difuzno istječu u more kod Zatona i Nina.

Prirodni uvjeti dinamike površinskih i podzemnih voda djelomično su promijenjeni izgradnjom hidrotehničkog tunela kojim se od 1963. godine poplavne vode Bokanjačkog blata odvodi u Miljašić jarugu. Time se sprječava stvaranje privremenog ujezerenja na tom području. Prije izgradnje ovog objekta područje Bokanjačkog blata bilo je povremeno plavljeno i polako se praznilo poniranjem u sjeverozapadnom dijelu polja. Izgradnjom tunela područje Bokanjačkog blata više nije plavljeno, čime je omogućena trajna poljoprivredna djelatnost na ovom području. U tu svrhu izgrađeni su sustavi kanala za navodnjavanje i odvodnju. No, s druge strane, ovim zahvatom promijenjeni su i uvjeti prihranjivanja podzemnih voda, odnosno smanjen je pozitivan utjecaj infiltracije tih površinskih voda na hidrogeološke prilike u vodonosniku.

Gotovo svi vodoopskrbni objekti u slivu (Golubinka, Boljkovac, Jezerce, Bokanjac) imaju povremene probleme sa zaslanjenjem. Zbog toga je sredinom sedamdesetih godina prošlog stoljeća nizvodno od crpne stanice Jezerce i Bokanjac izvedena injekcijska zavjesa kako bi se spriječio prodor slane vode. Injekcijska zavjesa nije dala očekivane rezultate jer je tok podzemne vode puno dublji od dubine same injekcijske zavjese, a također je i nakon izgradnje injekcijske zavjese dolazilo do povremenih povećanja saliniteta na crpnim stanicama Bokanjac i Jezerce.

2.1.2. Monitoring podzemnih voda

Na pilot području Bokanjac – Poličnik sustav monitoringa podzemnih voda projektiran je na način da se u postojeća četiri zdenca zahvaćena za potrebe javne vodoopskrbe ugradi sustav automatskog mjerenja, kao i u tri piezometarske bušotine koje se nalaze neposredno uz zdence Bokanjac B-4, Jezerce i Boljkovac. Piezometarske bušotine su izgrađene za potrebe provedbe operativnog monitoringa podzemnih voda koji je pokrenut u prosincu 2017. godine i trajao do rujna 2019. godine (Biondić et al., 2019).

Bušotina BOK-1 (Slika 2.1-7) izvedena je do 85 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 20,113 m. U apsolutnim nadmorskim visinama dubina bušotine BOK-1 iznosi oko 65 m ispod srednje razine mora.

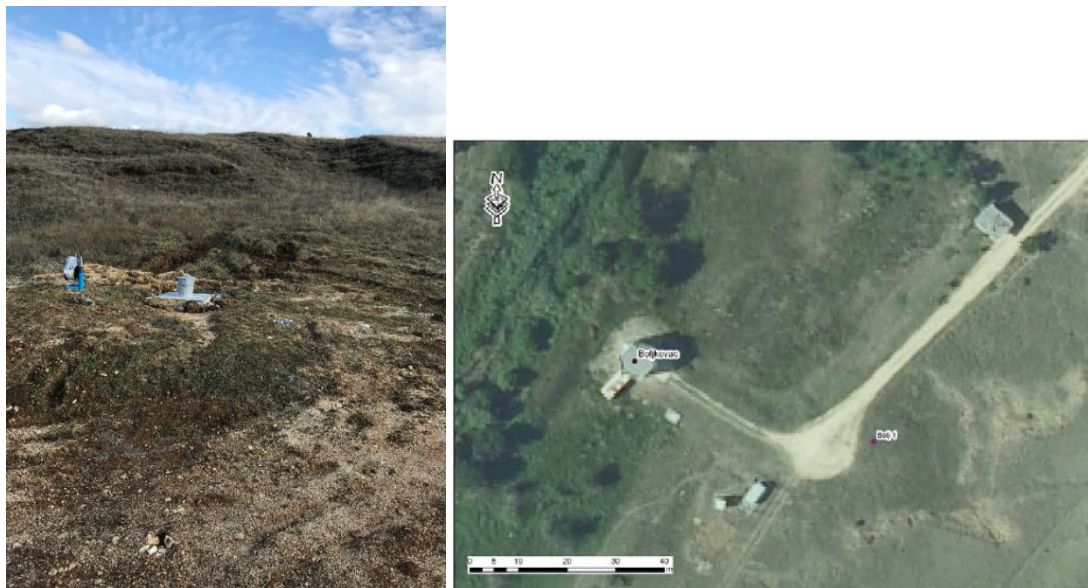


Slika 2.1-7. Piezometarska bušotina BOK-1 i njen položaj na ortofoto snimku

Bušotina JEZ-1 (Slika 2.1-8) izvedena je do 84,5 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 17,026 m. U apsolutnim nadmorskim visinama dubina bušotine JEZ-1 iznosi oko 67,5 m ispod srednje razine mora.



Slika 2.1-8. Piezometarska bušotina JEZ-1 i njen položaj na ortofoto snimku

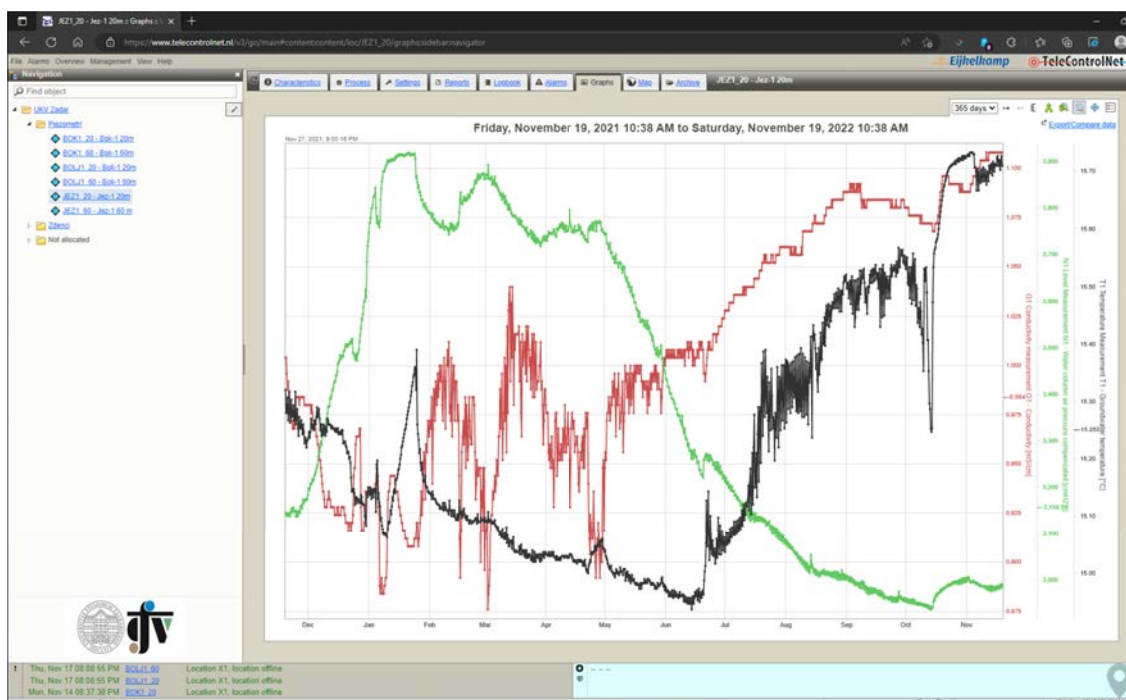


Slika 2.1-9. Piezometarska bušotina BOLJ-1 i njen položaj na ortofoto snimku

Bušotina BOLJ-1 (Slika 2.1-9) izvedena je do 65,6 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 7,040 m. U apsolutnim nadmorskim visinama dubina bušotine BOLJ-1 iznosi oko 58,5 m ispod srednje razine mora.

Nakon završetka tog projekta automatski mjerači su ostavljeni u bušotinama i nastavljen je monitoring kako bi se omogućio kontinuitet mjerenja do okončanja postupaka javne nabave novih automatskih senzora za mjerenje električne vodljivosti, temperature i razine podzemne vode i njihovog postavljanja u bušotine.

Pokretanjem projekta UKV monitoring je prilagođen potrebama projekta na način da je nastavljen monitoring u vodoopskrbnim zdencima, a u piezometarskim bušotinama je postavljen monitoring na način da su ugrađeni automatski mjerači na dubinama od 20 m i 60 m ispod srednje razine mora. Time je omogućeno praćenje ponašanja vodonosnika u pripovršinskoj zoni, ali i u dubokoj zoni vodonosnika. Okončanjem postupka javne nabave u sklopu projekta UKV monitoring ugrađen je sustav telemetrije čime je omogućen on-line monitoring u stvarnom vremenu (Slika 2.1-10).



Slika 2.1-10. Prikaz web stranice sustava monitoringa u stvarnom vremenu (primjer vodocrpilišta Jezerce, dubina 20 m)



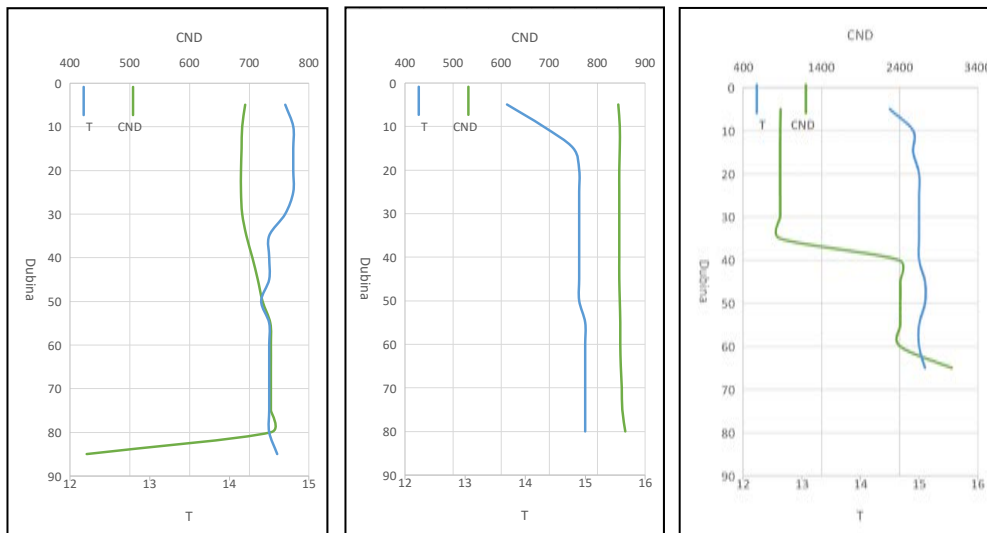
Slika 2.1-11. Ugrađeni sustav monitoringa u bušotinu BOK-1

Prije ugradnje senzora za automatsko mjerenje izmjerena je električna vodljivost i temperatura po dubini vodonosnika na svakih 5 metara dubine u sve tri bušotine uključene u sustav monitoringa (Slika 2.1-11).

Vrijednost električne vodljivosti u bušotini BOK-1 (Slika 2.1-12, lijevo) kretala se u rasponu od 688 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 10 m dubine od ušća bušotine (10,1 m n.m.) do 736 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 80 m dubine (-60 m n.m.). U najdubljem dijelu bušotine izmjerena je smanjena električna vodljivost, ali je to posljedica što se pri dnu bušotine nalazi zatvoreni taložnik koji nije reprezentativan za mjerenja.

U bušotini JEZ-1 (Slika 2.1-12, sredina) CND je po cijelom profilu bušotine iznosio oko 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$, odnosno nešto je povišenih vrijednosti u odnosu na BOK-1. To se tumači time što se piezometarska bušotina JEZ-1 nalazi bliže moru i utjecaj zaslanjenja je na toj lokaciji veći nego na crpilištu Bokanjac.

Vrijednost električne vodljivosti u bušotini BOLJ-1 (Slika 2.1-12, desno) je do dubine 35 m iznosila oko 875 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dok je u dubljem dijelu bušotine (oko 35 m dubine), bila znatno povišena i iznosila je oko 2,4 mS/cm što upućuje na zonu miješanja slatke i slane vode.



Slika 2.1-12. Mjerenja električne vodljivosti (CND) i temperature podzemne vode (T) po dubini vodonosnika u piezometarskim bušotinama BOK-1 (lijevo), JEZ-1 (sredina) i BOLJ-1 (desno)

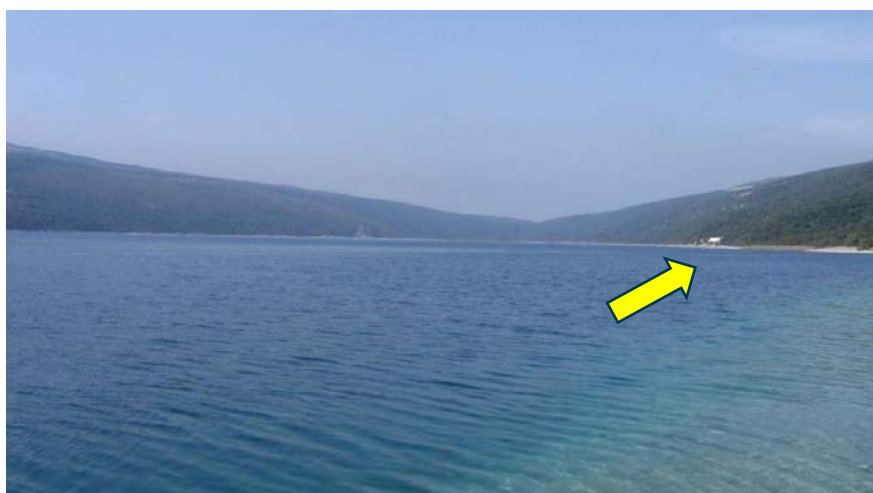
Svi automatski mjerači postavljeni su na način da svakih deset minuta izmjere vrijednosti električne vodljivosti, temperature i razine podzemne vode. Razina podzemne vode mjeri se na način da svaki automatski mjerač mjeri hidrostatski tlak, odnosno nadsloj vode iznad senzora. Također, iznad maksimalne razine podzemne vode postavlja se i barosonda koja služi za kompenzaciju atmosferskog tlaka kako bi se mogla izračunati točni nadsloj

podzemne vode iznad automatskog mjerača. Obzirom da su automatski mjerači postavljeni na određene dubine vrlo lagano se dolazi do podatka o razini podzemne vode u tom vodnom objektu.

Osim podataka operativnog monitoringa podzemnih voda prikupljenih u sklopu ovoga projekta za potrebe izrade hidrogeoloških analiza prikupljeni su i dostupni podaci od Vodovoda Zadar, DHMZ-a i online baza o razinama mora. Od Vodovoda Zadar su dobiveni podaci o količinama crpljenja te razinama vode u zdencima vodocrpilišta, a od DHMZ-a podaci o količinama oborina na postaji Zadar. Podaci o razinama mora preuzeti su iz online baze Britanskog oceanografskog instituta (engl. British Oceanographic Institute) u kojoj je navedeno da je izvor podataka Hrvatski hidrografski institut.

2.2. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu

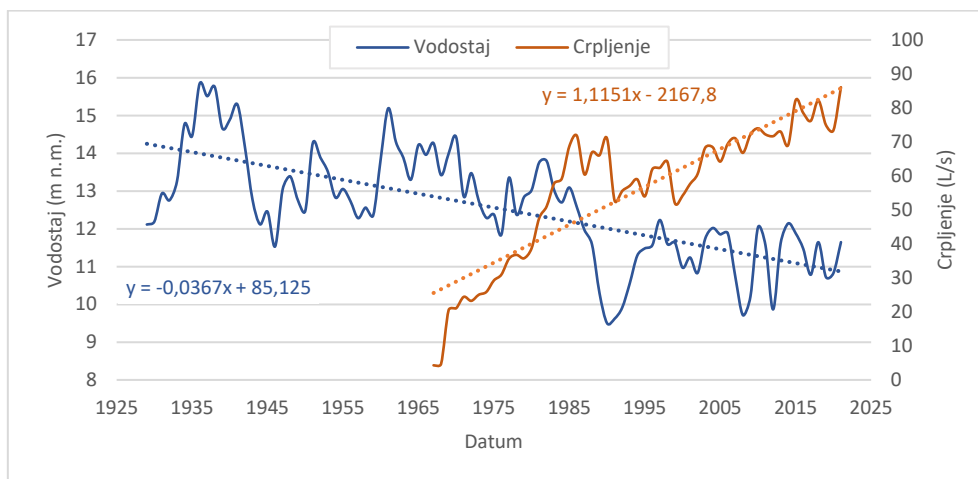
Vransko jezero na Cresu ([Slika 2.2-1](#)) izniman je prirodni fenomen pojave oko 220 mil. m³ slatke vode na inače, u pogledu respektabilnih vodnih rezervi, bezvodnom otoku Cresu, i to na udaljenosti od svega nekoliko km od mora. Osim svoje vrijednosti prirodnog otočkog slatkovodnog ekosustava, jezero ima i nezamjenjivu ulogu u vodoopskrbi Cresa i Lošinja kao njihovo jedino izvorište. Tijekom posljednjih desetak godina godišnje se koristi u prosjeku oko 2,4 mil. m³. Do zaključenja izrade predmetne monografije, najviše se vode koristilo tijekom posljednje 2021. godine kada je zahvaćeno oko 2,72 mil. m³, odnosno oko 0,086 m³/s. Tijekom ljeta naglašene su potrebe za vodom koje se na razini srednjih mjesečnih količina kreću i do 0,159 m³/s, a maksimum srednjih dnevnih crpljenja iznosi 0,178 m³/s. Kako je jezero kriptodepresija s dnom na koti od 61,3 m n.m., postoji rizik od prodora mora u njegov vodni sustav ukoliko se naruši dinamička ravnoteža slatke i slane vode.



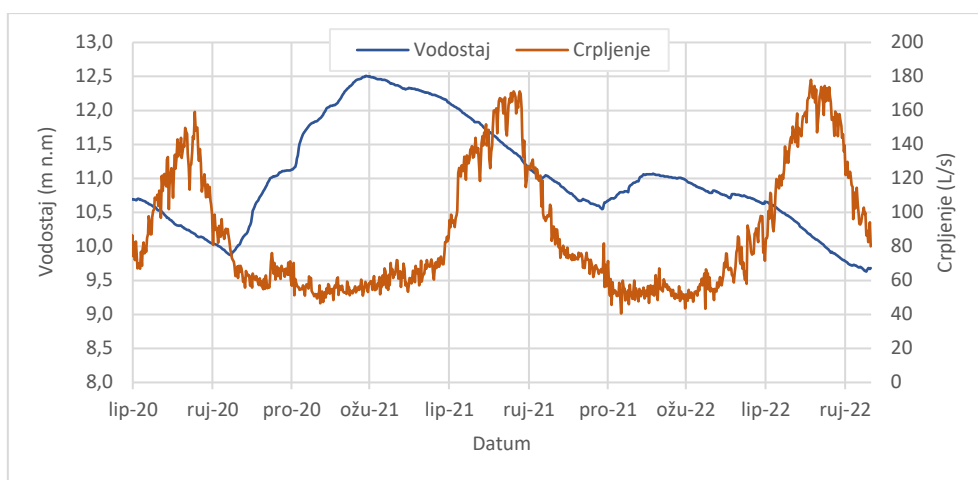
Slika 2.2-1. Vransko jezero na Cresu s markiranim položajem crpne postaje CP Vrana Vodoopskrbe i odvodnje Cres Lošinj d.o.o.

Ti su rizici povećani u uvjetima prisutnih klimatskih promjena koje uvjetuju povećanje temperatura zraka, a time i smanjenja dotoka u jezero uslijed evapotranspiracije i evaporacije s površine jezera, kao i povećanjem potreba za vodom. Na [slici 2.2-2](#) dan je prikaz hoda srednjih godišnjih razina jezera i srednjih godišnjih količina crpljenja za razdoblje od početka monitoringa 1929. do 2021. godine iz kojeg se vidi da postoji koincidencija smanjenja srednjih razina vode u jezeru s porastom korištenja voda za potrebe vodoopskrbe. Na [slici 2.2-3](#) dan je prikaz hoda srednjih dnevnih vodostaja i crpljenja tijekom trajanja projekta iz kojeg se vidi naglašen sezonski karakter potreba za vodom, kao i različit raspon unutar godišnjih oscilacija u jezeru – u vodnoj 2020./2021. je jezero tijekom vodnog razdoblja poraslo za 2,64 m, a u sušnoj 2021./2022. za svega 0,52 cm. Sezonsko sniženje razina tijekom sušnog razdoblja 2020./2021. iznosilo je 1,96 m, a tijekom 2021./2022. 1,39 m. Na to je utjecala kako raspodjela palih oborina tako i gubici vode iz Vranskog jezera koji su generalno pri višim razinama veći ([Petrik, 1957](#); [Rubinić & Ožanić, 1992](#); [Ožanić & Rubinić, 1994](#)). Iz jezera je dosad iscpljeno blizu 99 mil. m³ vode, odnosno oko blizu polovine srednjeg volumena vode u jezeru. Kada ne bi postojao takav gradijent međuodnosa dotoka i gubitaka,

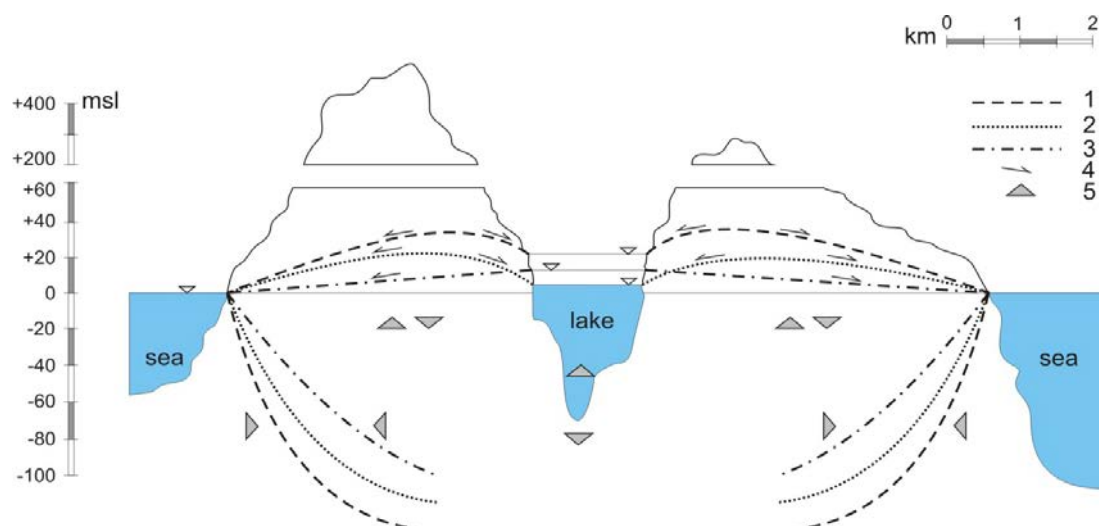
razina vode bi se spustila ispod srednje razine mora, no u danom slučaju vidljivo je da je srednja razina vode samo smanjena u odnosu na razdoblje prije početka crpljenja vode. No, u slučaju nastavka trenda povećanja crpljenja i intenziviranja klimatskih promjena, povećava se rizik prodiranja mora u jezerski sustav zbog mogućeg narušavanja ravnoteže slatke i slane vode u uvjetima sniženih razina vode u jezeru (Slika 2.2-4). Naime, ravnoteža slane i slatke vode na tom otočkom vodonosniku odvija se na principima hidrostatskog Ghyben-Herzbergerovog zakona (Verruijt, 1968), no s dodatnim elementima ovisnim o dinamici istjecanja podzemnih voda, te uvjetima vezanim uz dinamičke elemente (De Weist, 1965).



Slika 2.2-2. Godišnji hod srednjih razina jezera (1929.-2021.) i godišnjih količina crpljenja (1967.-2021.)



Slika 2.2-3. Hod srednjih dnevnih vodostaja i srednjih dnevnih crpljenja tijekom trajanja projekta



Slika 2.2-4. Presjek kroz Vransko jezero na Cresu i shematizirani hipotetski prikaz međudnosa ravnoteže slanih i slatkih voda u karakterističnim hidrološkim stanjima; Legenda: (1) hidrološke prilike pri vodnijim stanjima u jezeru i vodonosniku, (2) hidrološke prilike pri uobičajenim stanjima u jezeru i vodonosniku, (3) hidrološke prilike pri sušnim stanjima u vodonosniku, (4) gradijent toka podzemnih voda, (5) generalni smjerovi podzemnih vodenih tokova i pomaka granice slatke i slane vode (preuzeto iz *Katalinić et al., 2007*)

Upravo zbog svojih specifičnosti, ali i važnosti za otočku zajednicu te potrebu njegova očuvanja, Vransko jezero je još odavno predmet interesa istraživača te se u nastavku daje kratak pregled, temeljen na dokumentu [GEO-5 \(2015\)](#). Isprva je taj interes bio vezan uz geografske aspekta, a kasnije i geološke, hidrološke, limnološke, biološke i mnoge druge. Tako se ono spominje i ucrtano je na karti putopisa Alberta Fortisa u njegovom Ogledu zapažanja o otocima Cresu i Lošinju iz 1771., prevedenom i objavljenoj kod nas tek 2014.godine ([Fortis, 2014](#)). Praktički stoljeće nakon toga javljaju se i prvi znanstveni radovi koji su već na početku polazili od dvaju oprečnih pretpostavki o načinu prihranjivanja jezera – po [Lorenzu \(1859\)](#) s kopnenog, a po [Mayeru \(1874\)](#) s lokalnog otočkog slivnog područja. Mayer 1874. godine provodi i prvi premjer jezera. Vranskim jezerom se s geografskog stanovišta bavi i [Gavazzi \(1902, 1904\)](#), koji provodi ponovni premjer jezera u razdoblju 1897.-1900.

Sredinom 20. stoljeća širi se interes za vodama Vranskoga jezera – kako u smislu mogućnosti korištenja za vodoopskrbu u hidrološki orijentiranom radu [Ceconija \(1940\)](#), tako i s aspekta biologije i limnologije njegovih voda ([Morton, 1933](#); [Nümann, 1949](#); [Golubić, 1961, 1962](#)). U to vrijeme, odmah nakon II svjetskog rata, krenulo se i s izgradnjom vodovoda sa zahvatom vode iz Vranskoga jezera, te s tim u svezi i prvi geološki radovi. Tako [Poljak \(1947\)](#) obnavlja postavku o mogućoj povezanosti jezera s kopnenim zaleđem.

Posebnu važnost iz tog doba imaju hidrološka i limnološka istraživanja koja su provedena na Vranskom jezeru pod vodstvom [Petrika \(1957, 1960\)](#), a temeljena su na tada provedenoj detaljnoj batimetriji jezerskog prostora ([Petrović, 1957](#)), obnovljenim hidrološkim opažanjima te vrlo detaljnom monitoringu fizikalno-kemijskih značajki jezerske vode. Na temelju rezultata tih istraživanja izrađen je i rad [Petrika \(1961\)](#) “Rasploživost količina vode u jezeru Vrani na Cresu” s vrlo optimističnim prognozama o mogućnostima korištenja voda iz jezera za vodoopskrbu do prosječnih 250 l/s tijekom godine. Iz toga doba vrijedi istaknuti i rad [Frankovića \(1962\)](#) vezan uz hidrološke procjene stanja jezerskog sustava.

Nakon toga [Magaš \(1965\)](#) analizira formiranje jezerskog prostora, te naknadno predvodi grupu autora koja je izradila Osnovnu geološku kartu lista Cres (mj. 1:100.000) ([Magaš, 1968](#)) i tumač za taj list ([Magaš, 1973](#)).

Relativno stabilne i povoljne hidrološke prilike u jezeru te potrošnja vode u relativno malim količinama (reda veličine do 1,2 mil m³) sve do početka osamdesetih nisu izazvale nikakvu zabrinutost ni potrebu provedbe dodatnih istraživanja. No, sredinom devedesetih, a posebno pri njihovom kraju, počeo se je uočavati naglašeni i do tada nezabilježeni trend opadanja razine vode ([Rubinić, 1988](#)) koji je inicirao povećani interes za istraživanje jezerskog prostora.

Aktiviran je INA-Projektov program "Hidrogeološki istražni radovi u svrhu optimalne eksploatacije vode iz Vranskoga jezera na otoku Cresu" (Golubić 1989a, 1989b) u kojemu je provedeno nekoliko različitih komponenti istražnih radova, počev od izrade hidrogeološke karte, katastra vodnih pojava na širem obalnom području otoka Cresa u cilju procjene mogućih lokacija gubitaka vode iz Vranskoga jezera, geofizičkih mjerenja (geoelektrično sondiranje), vodna bilanca, a provedeno je i jedno trasiranje s lokaliteta vrtače u Strašnoj Draga, udaljene u trenutku trasiranja svega 50 m od obale jezera i položene visinski 3-4 m iznad tadašnje razine vode u jezeru (10,67 m n.m.) koja je bila najmanja do tada zabilježena vrijednost. Dobiveni rezultati trasiranja pokazali su upitnu vezu samo s vruljom Vratak na zapadnoj obali Cresa, a istjecanje trasera nije zabilježeno čak ni na tako bliskoj obali jezera što je u najmanju ruku čudno. Provedena istraživanja generirala su zaključke da je glavno sabirno područje istočno od jezera, a područje istjecanja iz sliva zapadno od jezera – vjerojatno preko vrulje Vratak. U tom je dokumentu ocijenjeno i da maksimalne crpljene količine (120 l/s, odnosno 2 mil. m³ godišnje) nisu izazvale dodatno sniženje razine vode i da se po ranijim Petrikovim procjenama (Petrik, 1961, 1969) planirana povećanja crpljenja do vršnih 350 l/s (ukupno godišnje do 6 mil. m³) mogu smatrati optimalnom količinom, s dodatnom ogradom – ukoliko ne izazove spuštanja razine vode iz jezera koje bi bilo nenadoknadivo u zimskim mjesecima.

Obzirom da su u spomenutim hidrogeološkim dokumentima INA-Projekta dane ocjene vodne bilance i mogućnosti korištenja voda bile temeljene na preskromnim hidrološkim analizama, unutar Vodoprivrede Rijeka, kao dopuna spomenutih istraživanja, napravljena je detaljnija hidrološka analiza vodne bilance Vranskoga jezera (Rubinić, 1990). Kritično stanje do tada najnižih zabilježenih razina vode protumačeno je pojavom iznimno sušnim hidrološkim prilikama (ali ipak normalnih u smislu mogućnosti njihove pojave), a manjim dijelom i crpljenjima vode iz jezera. Ukazano je i da, zbog velike amplitude godišnjih kolebanja razine vode, ipak postoji rizik zaslanjenja ukoliko se prihvate spomenute procjene (Petrik, 1969) o dopustivoj minimalnoj razini vode u jezeru od 3 m n.m.

S obzirom na nastavak trajanja izrazito sušnog razdoblja i sve veću zabrinutost uslijed pojave sve nižih i do tada nezabilježenih razina vode u jezeru, intenzivirani su istražni radovi na način da su uz hidrogeološke i hidrološke radove započela i biološka istraživanja jezerskog ekosustava, a od strane Hidrografskog instituta JRM napravljen je i novi detaljan premjer jezera (Stajić, 1991).

Hidrogeološka istraživanja je preuzeo Institut za geološka istraživanja pod vodstvom B. Biondića, a koja su početkom devedesetih rezultirala dvama dokumentima – „Jezero Vrana na otoku Cresu – Hidrogeološki istražni radovi I. faza“ (Biondić et al., 1991), te „Hidrogeologija Vranskoga jezera na otoku Cresu“ (Biondić et al., 1994). U tim su radovima provedene detaljne analize strukturnih odnosa šireg analiziranog područja, te kao zone recentne kompresije izdvojena su područja oko Marinšćice, južno od Lubenica, sjeverno od Pernata i uz sjeveroistočni rub Vranskoga jezera. Kao zone relaksacije izdvojena su područja oko Pernata i zaljeva Valun, kao i oko Lubenica, Vranskoga jezera, uvale Vrutek i u široj okolici uvale Koromačna. U sklopu tih istraživanja provedena su i geofizička ispitivanja - duboko geoelektrično sondiranje koje je provela tvrtka MOHO (Benamatić, 1991), a ponovljeno je i trasiranje s lokaliteta Strašne drage. Trasiranje je izvedeno 7. lipnja 1991. godine na istom mjestu gdje je prethodno, s istom količinom trasera (30 kg uranina) pri još nižoj razini vode u jezeru od 9,87 m n.m. Ubačeno je i 150 m³ vode za ispiranje trasera. No, ni na jednom opažajkom mjestu, pa tako ni na vrulji Vratak, nije registrirano istjecanje trasera.

Kao osnovni zaključak spomenute I. faze istraživanja (Biondić et al., 1991) istaknuto je da se jezero samo dijelom prihranjuje iz lokalnog sliva, a većim dijelom iz lokalnih, nedefiniranih prostora. Velika je pozornost posvećena mogućim uzlaznim tokovima vode iz dubokog krškog podzemlja koji bi bili povezani s regionalnim kopnenim prostorima, čime je protumačena i pojava vrulje Vratak.

Početkom devedesetih nastavljeni su i hidrološki radovi u organizaciji JVP istarskih slivova iz Labina i JVP Hrvatske vodoprivrede OJ Rijeka, a koji su dokumentirani u studiji „Vransko jezero na Cresu – rezultati hidroloških istražnih radova – I. faza“ (Rubinić, 1991). U njoj su provedene detaljne hidrološke analize gubitaka vode, kao i utjecaja nepovoljnih hidroloških prilika i crpljenja na zabilježeni trend opadanja razine vode u jezeru tijekom 1990. godine

kad je dosegnut tadašnji ekstremni minimum. Ocijenjeno da su gubici približno upola manji od ranijih Petrikovih procjena, a provedena su i modelska istraživanja dinamike kolebanja razine vode u jezeru obzirom na elemente vodne bilance. Ocijenjeno je da bi površina hipotetskog sliva od 25-30 km² bila u stanju zadovoljiti bilančne uvjete ponašanja jezerskog sustava, ali i da promjena gradijenata i količine gubitaka vode iz jezerskog sustava u odnosu na Petrikove rezultate provedenih procjena (Petrik, 1969) znači i smanjenje mogućnosti crpljenja iz jezera. Uz to, provedena su i terenska mjerenja izdašnosti koncentriranih mjesta istjecanja voda iz otočkog krškog vodonosnika u more – vrulja Vrutak na zapadnoj obali i izvor Lukavac na istočnoj obali.

II. faza istraživanja (Biondić et al., 1998) obuhvatila je praćenja fizičko-kemijskih značajki vode Vranskoga jezera i recentnih jezerskih sedimenata, a u okviru šireg Europskog COST projekta. U ta su istraživanja uključeni i istraživači Instituta za nuklearna istraživanja iz Debrecina u Mađarskoj koji su proveli istraživanja sadržaja prirodnih izotopa i snimanja najdubljeg dijela jezera. Rezultati istraživanja prirodnih izotopa izmijenili su dotadašnje pretpostavke o dominantnom regionalnom prihranjivanju jezera jer je utvrđeno da se radi o prihranjivanju jezera pretežno preko oborina, a manjim dijelom kroz krško podzemlje. Interesantno je usporediti vrijeme izmjene vode u jezeru koje je po rezultatima istraživanja izotopnog sastava vode između 30 i 40 godina (Hertelendi et al., 1995), a po rezultatima hidroloških sagledavanja (Ožanić & Rubinić, 1995a) ono je 32 godine. Vidljivo je podudaranje rezultata dvaju potpuno nezavisnih metoda bilanciranja.

Za spomenuti je i hidrološke analize koje je proveo Bonacci (1996a, 1996b) vezane uz analize vodne bilance i ocjene hipotetičkog modela funkcioniranja Vranskoga jezera uz pretpostavku da je ono vezano s udaljenim regionalnim vodonosnikom, a kojima on opovrgava mogućnost takve povezanosti.

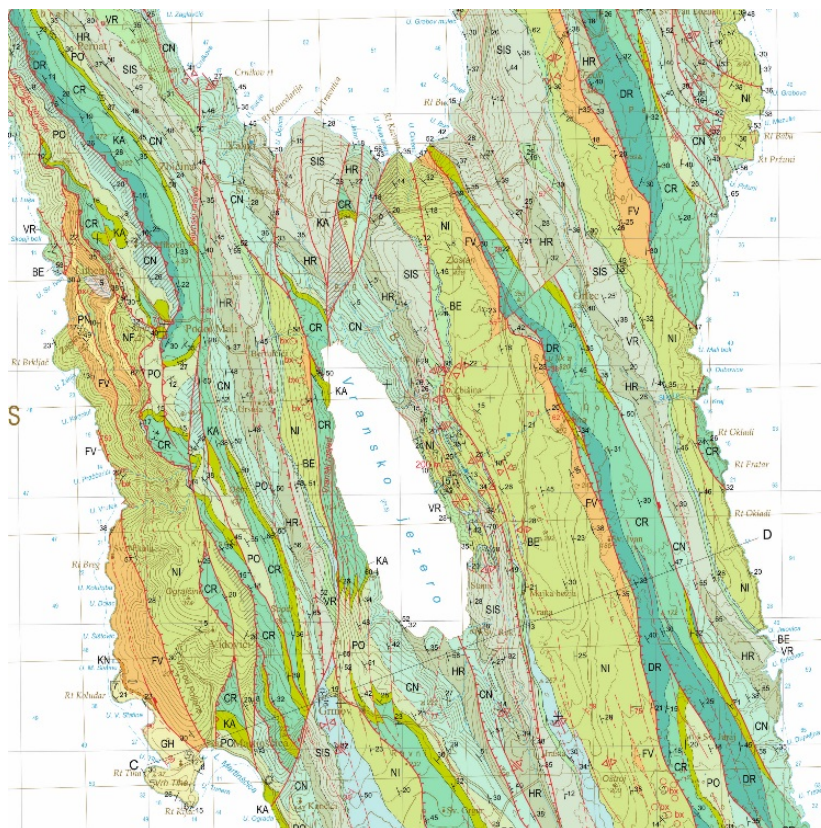
Spomenute izvještaje o provedenim istraživanjima pratili su i publicirani radovi istraživača uključenih u ta istraživanja (Biondić et al., 1993, 1995; Rubinić & Ožanić, 1992; Ožanić & Rubinić, 1994, 1995b; Bonacci, 1993, 1995). U okviru tih istraživanja realizirano je i nekoliko doktorata – Mesić (2004) vezano uz analizu antropogenog utjecaja na geokemijski sastav holocenih sedimenata, Ožanić (1996) vezano uz hidrologiju jezerskog sustava, te Kapelj (1997) vezano uz hidrokemijske značajke jezerske vode. Iako s velikim vremenskim odmakom, za spomenuti je i doktorat Ilijanić (2014) vezan dijelom uz Vransko jezero u kontekstu zastupljenosti gline u mineraloškom sastavu jezerskog sedimenta kao pokazatelju promjena okoliša tijekom kasnog pleistocena i holocena.

Zbog stabilizacije hidroloških prilika i smanjenih količina crpljenja, razine vode u jezeru se nakon početka devedesetih nisu dugo vremena približavale niskim vrijednostima kakve su zabilježene na početku tog razdoblja, što je sredinom devedesetih smanjilo interes za financiranjem nastavka temeljnih istraživanja na Vranskom jezeru. Izuzetak je bio nastavak hidrogeoloških istraživanja Instituta za geološka istraživanja koja su u velikoj mjeri bila orijentirana na istražna bušenja i uspostavu praćenja dinamike kolebanja razine voda, temperatura i električne vodljivosti, a ta su istraživanja rezultirala i novim prijedlogom zona sanitarne zaštite (BIONDIĆ et al., 1998). Ta su istraživanja nastavljena i slijedećih godina te dokumentirana u izvještajima Instituta za geološka istraživanja za razdoblje 1998.-2000. godine (Mesić & Kuhta, 2001), te 2001.-2002. godine (Kuhta, 2002). Nastavak dijela tih istraživanja proveo je PMF iz Zagreba i bio je orijentiran na morfogenezu, geokemiju sedimenata te funkcioniranje, opterećenje i zaštitu sustava Vranskoga jezera (Prohić, 2002, 2003).

Schmidt et al. (2000) na osnovi analize polena procjenjuju promjene u ekosustavu Vranskoga jezera na duljoj vremenskoj skali, a Šegota i Filipčić (2000) u svom radu ispituju hipotetsku starost Vranskoga jezera. Od kasnijih radova vezanih uz Vransko jezero i njegovu zaštitu, za istaknuti je radove Kuhta & Brkić (2013), te Bonacci (2014) vezanih uz zapažene promjene temperature vode u jezeru, kao i Ilijanić et al. (2015) vezano uz istraživanja geneze i paleorazina Vranskoga jezera.

2.2.1. Geološki i hidrogeološki opis sliva

Prema Mihoviloviću (GEO-5, 2015) temeljeno na svim ranijim dostupnim sagledavanjima, a prije svega na novoj Osnovnoj geološkoj karti Republike Hrvatske, listovi Cres 2, Cres 4 M 1:50 000 (Slika 2.2-5, Fuček et al., 2012), područje Vranskoga jezera kao i cijeli otok Cres građeno je od sedimentnih stijena kredne i paleogenske starosti koje se pružaju od rta Jablanac na sjeveru otoka do južnog dijela Punta Križa. Vapnenci zahvaćaju najveći dio donjokrednih naslaga. Dobro su uslojeni s debljinom slojeva od 20-100 cm. Mjestimično su pločasti, što je osobito karakteristično za dio naslage uz kontakt s dolomitima. Ovakve pločaste vapnence nalazimo u pojasu zapadno od Vranskoga jezera. Na drugim mjestima nisu tako izrazitog razvoja. U donjokrednim naslagama primijećena je izvjesna pravilnost u debljini sloja. Naime, naslage počinju s deblje uslojenim vapnencima, da bi nakon tanko uslojenih mjestimično prešli u prave pločaste vapnence. Na nekoliko mjesta zapažen je jači kristalitet vapnenaca, što je svakako posljedica jakih tektonskih utjecaja.



Slika 2.2-5. Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, listovi Cres 2, Cres 4, M 1:50 000 (Fuček et al., 2012)

Najstarije naslage donje krede pripadaju debelo uslojenim svijetlosmeđim mikritnim vapnencima valendisa i otriva ($K_1^{1,2}$) čija debljina prelazi 200 m (formacija Dragozetići). Na njih kontinuirano naliježu tanjeuslojeni laminirani vapnenci plitkomorskog facijesa s tragovima emerzijskih breča barema (K_1^3) debljine 100 do 150 m (formacija Cres). Krovinu im čine debelo uslojeni mikritni vapnenci donjeg apta (K_1^4) debljine 20 do 50 m (formacija Kanfanar).

Na njima kontinuirano slijede tanko uslojeni peritajdalni vapnenci s emerzijskim brečama debljine do 100 m koje pripadaju gornjem aptu donjem albu ($K_1^{4,5}$). Slijede debelouslojeni mikritni i zrnati vapnenci alba (K_1^5) čija debljina prelazi 200 m (formacija crna). Ovim paketom završava serija donjokrednih vapnenaca čija ukupna debljina u normalnom tektonski neporemećenom stratigrafskom razvoju prelazi 600 m.

Velik dio otoka Cresa i otoka Lošinja izgrađuju naslage koje dijelom pripadaju donjoj, a dijelom gornjoj kredi. To su uglavnom dolomiti u kojima se sporadično javljaju dolomitne breče i vapnenci. Ove naslage interpolirane su između donjokrednih vapnenaca i rudistnih vapnenaca cenomana. Javljaju se u nekoliko odvojenih zona,

dinarskog pravca pružanja. Odstupanja od ovog smjera lokalnog su značaja. Pravu debljinu ovih naslaga teško je odrediti zbog njihove poremećenosti. Srednja im se debljina kreće od 200 m do 250 m.

Unutar spomenutih naslaga dolomiti su zastupani preko 80 %. Uslijed trošenja veliki dio terena pokriven je dolomitnim pijescima. Ovo je osobito značajno za ona područja gdje dolaze pjeskuljavi dolomiti, kao na primjer na istočnoj obali otoka Cresa. Postanak dolomita vezan je uz dijagenetske promjene u toku sedimentacije. Jedan dio naslaga upućuje na primarno porijeklo. Kasno dijagenetske dolomite karakteriziraju relativno krupna zrna sa zamućenim centrom vapneno glinovite supstance, koja je zaostala prilikom procesa zamjene. Za njih je također značajan postepeni prijelaz od dolomitičnih vapnenaca preko vapnovitih dolomita do pravih dolomita. Fosilna fauna u njima nije nađena, ali se zato fosilni ostaci nalaze u lećama onih vapnenaca, koji nisu dijagenetski promijenjeni. Prema tome dolomitizacija je vršena postepeno. Što je koncentracija magnezijjskih soli bila veća, to je zamjena kalcitnog vapnenca mulja bila sve izraženija.

Stariji dio dolomitne serije čine debelo uslojeni sitnokristalični i krupnokristalični kompaktni sivi dolomiti gornjeg alba (K_1^5) čija debljina varira od 30 do 80 m (formacija Hraste). Mlađi paket dolomitnih naslaga grade sivi, nepravilno uslojeni krupnokristalinični kasnodijagenetski dolomiti s peritajdalnim brečama debljine od 80 do 150 m koji stratigrafski pripadaju donjem cenomanu (K_2^1) (formacija Sis). Paket dolomita koji se javljaju u stratigrafskom rasponu – gornji alb donji cenoman u ukupnoj debljini od 200 m daju vrlo bitnu ulogu hidrogeološkim osobinama građe Creskog otoka.

U cenomanu (K_2^3) kontinuirano se na dolomite talože rudistni vapnenci koji su pretežno bijeli ili svjetlosmeđe boje. U osnovnoj masi često dolaze slabo sačuvani fosili, zatim fragmenti krupnih ljuštura rudista s fibroznom kalcitnom građom. Serija gornjokrednih vapnenaca započinje tankouslojenim, laminiranim peritajdalnim vapnencima debljine 20 m (formacija Vrana). Na njih naliježu debeloslojeviti pelagički biomikritni vapnenci debljine od 0 do 200 m (formacija Belej) koji su u lateralnoj izmjeni sa superpozicijski položenim masivnim rekristaliziranim mikritnim bioklastičnim vapnencima s rudistima i hondodontama (formacija Niska - K_2^1). Debljina im je od 20 do 200 m.

U preostalom dijelu okolice Vranskoga jezera najmlađe kredne naslage na površini pripadaju formaciji Niska, odnosno masivnim rudistnim vapnencima cenomana, dok su mlađe naslage turona i koniaka ili erodirane ili nisu bile ni taložene u vrijeme trajanja kopnene faze krajem krede i početkom paleogena. Značajno je napomenuti da je krajem krede kao posljedica laramijske orogenetske faze došlo do raspadanja jadranske karbonatne platforme te uzdizanjem mezozojskih karbonatnih stijena te započetim procesom njihove dezintegracije, okršavanja i erozije.

U paleocenu i donjem eocenu, počevši od sjeveroistočnog dijela jadranske karbonatne platforme pa prema jugozapadu, talože se liburnijski sedimenti (linmički i paralički), preko naborane i erodirane platforme. Nakon toga postepeno se talože uglavnom marinski foraminiferski vapnenci paleogena koji prekrivaju slatkovodne sedimenta liburnijskih naslaga. Za vrijeme pirinejske orogene faze na kraju paleocena i do oligocena, konvergencija Jadranske karbonatne platforme i Dinarida obilježena je daljnjim boranjem struktura i sedimentacijom fliša u produbljenim prikopnenim morskim depresijama.

Iz pregleda litostratigrafske građe otoka Cresa vidljivo je da je on kompletno građen od karbonatnih stijena kredne i paleogenske starosti. Dominantni su vapnenci i dolomiti iz perioda krede dok su paleogeni foraminiferski vapnenci i prelazne naslage fliša manje zastupljene.

Donja kreda od valendisa do alba izgrađena je od uglavnom dobro uslojenih vapnenaca pelagičkog i subtajdalnog facijesa s rijetkim lećama dolomita s više prisutnih emerziskih breča pogotovo u baremu i albu koje govore o plitkomorskom facijesu postanka. Donjokredni vapnenci su kompaktni mikriti i biomikriti što im daje i određena obilježja vezano uz porozitet i propusnost. Debljina donjokrednih vapnenaca u kompletnom stratigrafskom razvoju je oko 700 m.

Na donjokredne vapnence kontinuirano naliježu dolomiti (alba i donjeg cenomana) koji su u donjem dijelu vrlo kompaktni i gusto kristalinični (formacije Hraste) dok su u višem dijelu nešto porozniji s brečolikom strukturom (formacija SIS). Ukupna debljina dolomitnog paketa koji se javlja na kraju donje krede i početkom gornje krede je oko 200 m. Dolomiti su po svom postanku kasnodijagenetski.

Na dolomite se kontinuirano nastavljaju jedri kompaktni debelouslojeni vapnenci gornje krede koji u različitim facijesima i formacijama imaju ukupnu stratigrafsku debljinu od 200 do 300 m. Zajednički naziv koji se u geološkoj literaturi koristi za njih je gornjokredni rudistni vapnenci.

Laramijski pokreti i izdizanje plitkomorske karbonatne platforme krajem krede dovelo je do emerzije tih vapnenaca i početka kopnene faze koja traje otprilike 5.000.000 godina. Dolazi do trošenja gornjokrednih vapnenaca i izrazite karstifikacije te stvaranja paleoreljefa. U depresijama paleoreljefa akumulira se glinoviti materijal iz kojeg se dijagenezom stvaraju ležišta boksita.

Transgresija mora koja je nastupila u gornjem paleocenu omogućava taloženje najprije slatkovodnih i brakičnih bituminoznih vapnenaca liburnijske serije, a zatim marinskih foraminiferskih, vapnenaca kronološki poredanih u miliolidni, alveolinski i numulitni paket slojeva. Djelovanjem pirinejske orogene faze dolazi do dodatnog boranja, uzdizanja antiklinala koje izranjaju iz mora, te spuštanja sinklinale u kojima se stvaraju morski bazeni i talože klastične naslage fliša.

Kvartalne naslage (Q_1, Q_2) u užem području jezera su obronačni nanosi i sipari, te jezerski prašinski sedimenti ranopleistocenske starosti i recentni jezerski sediment.

U tektonskom pogledu otok Cres s Vranskim jezerom pripada Dinaridima i to strukturnoj jedinici Adrijatika ([Herak, 1986, 1991](#)). Osnovnu sliku daju navlačne strukture karakteristične za rubno područje platforme koje su u ovom prostoru navučene na strukture Jadranskog bazena.

Geološke strukture su dinarskog pravca pružanja SSZ-JJI karakterizirane reversnim rasjedanjima i izoklinalnim položajem slojeva pojedinih formacija. Promatrajući šire područje okruženja Vranskog jezera, mogu se izdvojiti se slijedeće geomorfološke jedinice:

- Navlaka Lubenice s nekoliko reversnih rasjeda preko kojih su donjokredni vapnenci valendisa navučeni na gornjokredne i paleogenske karbonate i klastite koji se nalaze zapadnije prema morskoj obali.
- Izoklinalni slijed donjokrednih vapnenaca dolomita Hraste - Sis formacije i gornjokrednih rudistnih vapnenaca nagnuti pod kutom od 35-55° koji grade veći dio zapadne padine Vranskog jezera.
- Vransko jezero koje leži na dolomitima Hraste – Sis formacije, koji su ispresjecani vertikalnim rasjedima pravca pružanja sjever-jug.
- Gornjokredni plato Komunada, istočno od mjesta Vrana, koji je u reversnom rasjednom kontaktu s dolomitima Vranskoga jezera na zapadu. Na istoku na gornjokredne rudistne vapnence transgresivno naliježu foraminiferski vapnenci paleogena.
- Reversni rasjed koji se pruža od Creskog zaljeva do uvale Koromačna odvaja izoklinalnu ljuskavu strukturu koja je građena od donjokrednih vapnenaca u podini preko dolomita formacija Hraste - Sis do gornjokrednih rudistnih vapnenaca na istočnoj morskoj obali otoka.

Izoklinalne ljuskave strukture koje se ponavljaju od zapadne do istočne obale otoka Cresa omeđene su reversnim rasjedima ili navlakama pravcu pružanja SSZ-JJI, a slojevi vapnenaca donje krede u podini, dolomita u središnjem dijelu i gornjokrednih vapnenaca u krovini nagnuti pod kutom od 30 do 50°.

Hidrogeološke karakteristike stijena koje su zastupljene na širem prostoru Vranskog jezera ocijenjene su prema litološkom sastavu, stupnju tektonskih deformacija stijena kao i okršenosti stijena na površini. Izdvojeno je pet osnovnih grupa stijena različitih hidrogeoloških karakteristika:

- Dobro vodopropusne naslage kvartara: sipari, obronačke breče i aluvijalni mulj. Pripadaju im aluvijalni nanosi na južnom i sjevernom rubu jezera. Radi se o vodom saturiranom finoklastičnom materijalu karbonatnog mulja i pijeska s odlomcima stijene vapnenca i dolomita. Uz obronke Vranske depresije javljaju se sipari koji su najčešće prisutni uz samu obalu jezera i oni spadaju u izrazito vodopropusne naslage.
- Dobro vodopropusne okršene karbonatne stijene, gornje krede (rudistni vapnenci ($K_2^{1,2}$) - formacija Belaj, Niska). Poroznost ove grupe stijena je sekundarna, pukotinska, kavernozna. Litološka svojstva, intenzitet tektonskih deformacija i stupanj okršenosti generalno uvjetuju veliku vodopropusnost tih naslaga.
- Srednje vodopropusne karbonatne stijene donje krede. Pripadaju im donjokredni vapnenci K_1^{1-5} formacija Draguzeti, Cres, Kanfanar, Porozine, Crna, te paleogenski foraminiferski vapnenci (E1,2). To su stijene (vapnenci) sekundarne, pukotinsko kavernozne poroznosti. Stijene su uz rasjedne pravce zahvaćene tektonskim deformacijama, ali su slabije okršene, a u dubljim dijelovima ispod površine dobra uslojenost smanjuje propusnost odnosno usmjerava procjeđivanje oborinske vode.
- Slabo vodopropusne karbonatne stijene (dolomiti – Hraste i SIS formacije). Pripadaju im dolomiti s rijetkim lećama vapnenca. To su također stijene sekundarne, pukotinske poroznosti. Stijene su zajedno s vapnenačkim kompleksom zahvaćene tektonskim deformacijama, ali su slabije okršene, a pukotine ispunjene glinom i dolomitnim pijeskom. Uz Vransko područje izgrađene su od dolomita i dolomitnih breča, ali odaju izgled fliških terena s duboko usječenim kanjonima, kojima padaline površinski otječu prema jezeru odnoseći veliki vučeni nanos na južnom i sjevernom dijelu jezera. Zbog opisanih hidrogeoloških karakteristika dolomiti mogu imati funkciju djelomičnih barijera ili usmjeravanja podzemne vode prema područjima izgrađenim od vodopropusnijih stijena što se pogotovo odnosi na guste sitnokristalinične dolomite formacije Hraste.
- U cjelini vodonepropusne klastične stijene fliša. Čine ih klastične naslage koje se javljaju u podini navlake Lubenice, građene su od fliških lapora i pješčenjaka. Čine viseće hidrogeološke barijere i zanemarivog su hidrogeološkog značaja na području šireg prostora Vranskoga jezera.

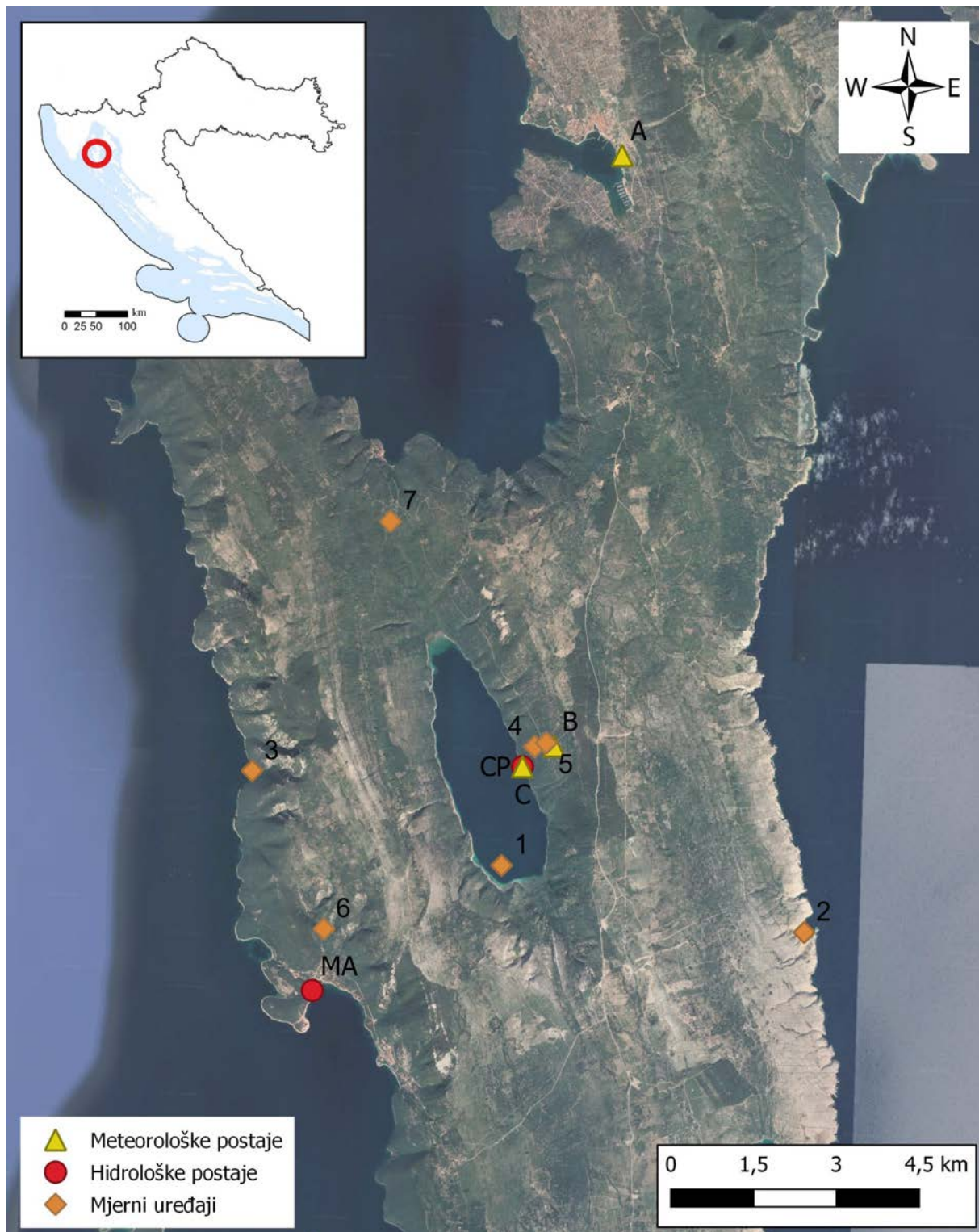
2.2.2. Monitoring podzemnih i površinskih voda

Na Vranskom jezeru postoji već dulje vrijeme aktivan sustavan monitoring hidroloških prilika (Slika 2.2-6), čiji su podaci korišteni u predmetnom dokumentu.

Zbog specifičnosti svoga položaja, dimenzija te svoga vodnog potencijala za vodoopskrbu još od gotovo samih početaka 20-tog stoljeća, Vransko jezero je imalo organizirani hidrološki monitoring – praćenja kolebanja razine vode u jezeru, kao i oborina u slivu te crpljenih količina vode. Meteorološka opažanja započela su 1909. godine osnivanjem klimatološke postaje Cres, na kojoj su nakon prekida 1952. godine motrenja obnovljena od strane DHMZ-a. Tijekom godina uspostavljeno je, ali i prekidano, motrenje na još nekoliko postaja na širem prostoru Vranskog jezera (Osor, Štivan, Lubenice, Belej, Vrana – Stanić). Zadržala su se motrenja na 1978. godine uspostavljenoj od strane komunalnog društva vođenoj internoj oborinskoj postaji Vrana jezero. Od sredine 2019. godine na lokaciji iznad crpne postaje jezera djeluje automatska klimatološka postaja Vransko jezero-Cres koja je krajem 2020. dodatno opremljena i ispariteljem klase A koji je lociran neposredno uz obalu jezera – kod crpne postaje.

Motrenja razine Vranskog jezera započela su 1926. godine na vodokaznoj postaji Stanić ispod istoimenog zaseoka sela Vrana, ali su rezultati motrenja sačuvani od svibnja 1928. godine. U studenom 1977. od strane DHMZ-a postavljena je vodomjerna letva na crpnoj postaji C.P. Vrana, te nakon nekoliko godina zajedničkog rada, 1984. godine ukinuta je hidrološka postaja Stanić. Od 1.1.1978. postaja C.P. Vrana – Vransko jezero (Slika 2.2-7) opremljena je limnigrafom. Na toj se postaji od 1979. godine mjere i temperature površinskog sloja vode. Za

spomenuti je da je na priobalnoj morskoj strani 1. studenoga 1990. godine osnovana od strane DHMZ-a mareografska postaja Martinšćica koja bilježi kolebanja razine mora.



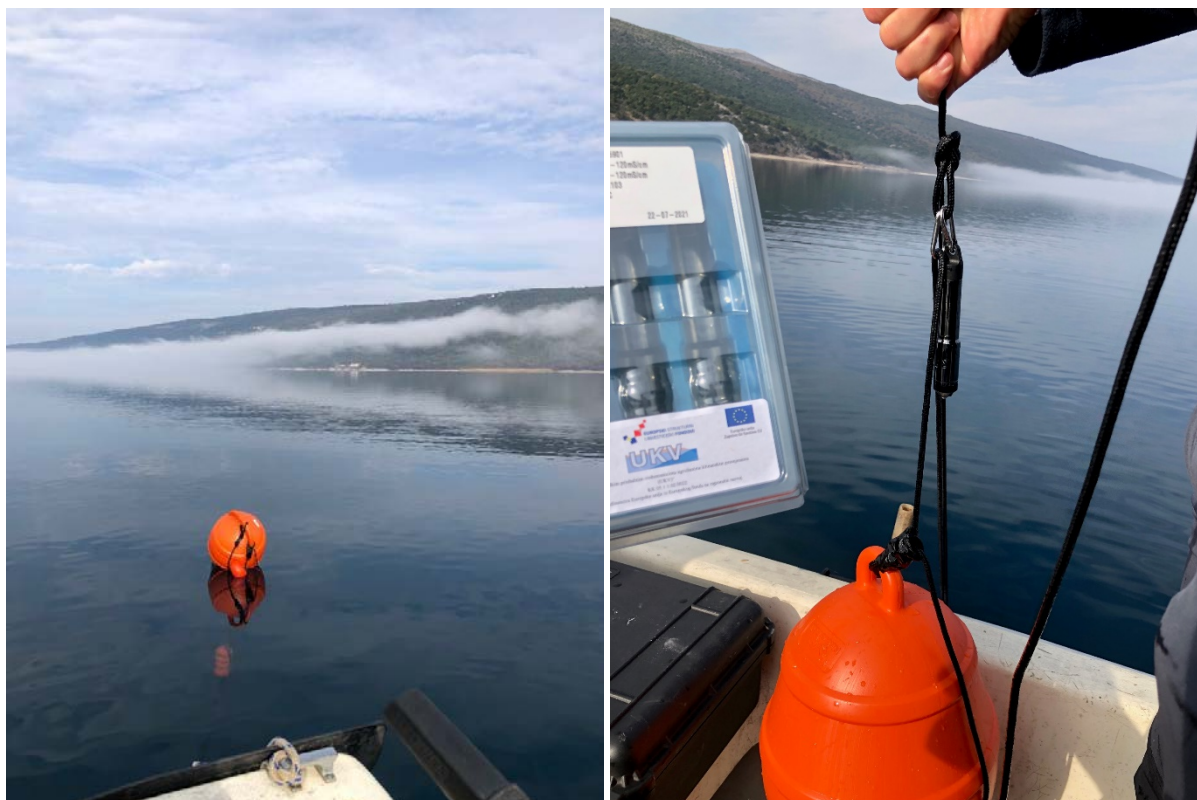
Slika 2.2-6. Situacija Vranskog jezera s prikazom položaja hidroloških (CP – C.P. Vrana, MA – Martinšćica more), meteoroloških postaja (A - klimatološke postaje Cres, B - automatska postaja Vransko jezero-Cres i C – kišomjerna postaja Vransko jezero – crpna postaja) i mjernih uređaja (1 – najdublji dio Vranskog jezera, 2 – Izvor Lukavac, 3 – Vrulja Vrutak, 4 – Piezometar PZ1, 5 – Piezometar PZ2, 6 – Piezometar Martinšćica i 7 – Piezometar Valun)

U sklopu predmetnog projekta, od 12. studenoga 2021. uspostavljen je i monitoring odabranih pokazatelja (temperatura vode, električna provodljivost) površinske vode Vranskog jezera u njegovom najdubljem dijelu,

vrtačastoj depresiji na jugoistočnoj strani jezerskog prostora, pri dnu i pri površini (Slika 2.2-8). Postavljeni su mjerni uređaji sa satnom diskretizacijom očitavanja.



Slika 2.2-7. Hidrološka postaja CP Vrana



Slika 2.2-8. Postavljanje mjernog uređaja u Vranskom jezeru

Što se pak tiče monitoringa podzemnih voda, od strane Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba (danas Hrvatski geološki institut) tijekom 1995. godine izvedena je prva bušotina u zaleđu vodozahvata jezera, na udaljenosti 325 m od ruba jezera. Kota vrha cijevi je na 132,73 m n.m., dubina bušenja iznosila je 200 m, tako da je njezina dubina za cca 6 m niža od najveće dubine Vranskoga jezera. Na njoj je izveden piezometar PZ-1. Radi se o lokalitetu vrlo strme konfiguracije, a spomenuta je bušotina/piezometar, kao i još dva druga (PV-2 i PV-3), izvedena neposredno uz prilaznu cestu vodospremi. Piezometar PZ-2 je od jezera udaljen 520 m, s vrhom cijevi na 220,42 m n.m., a dubina bušenja 300 m, tako da joj je dno 18 m dublje od najniže točke u Vranskom jezeru. Piezometar PZ-3 je od jezera udaljen 825 m, a dubina mu je također 300 m, tako da se dno bušotine visinski nalazi oko 37 m poviše u odnosu na najnižu dubine u jezeru. No, piezometar PZ-3 je zaglavljen i nije više u funkciji (Biondić et al., 1998; GEO-5, 2015). Spomenuti piezometri su u nekoliko navrata aktivirani i prestajalo se s motrenjima na njima, da bi se u sklopu UKV projekta dana 8. studenoga 2021. godine postavili mjerni uređaji u piezometre PZ-1 i PZ-2 (Slika 2.2-9).



Slika 2.2-9. Postavljanje mjernog uređaja u piezometar PZ-1 (lijevo) i PZ-2 (desno)

Usporedno s realizacijom UKV projekta, Hrvatske vode su pokrenule program osiguranja dodatnog monitoringa podzemnih voda u pravcima potencijalnog otjecanja voda iz jezera, pri čemu su izbušene dvije nove 200 metarske bušotine u koje su ugrađeni piezometri i krajem 2021. godine postavljeni mjerni uređaji na površini i pri dnu bušotine. Radi se o lokacijama piezometra Martinšćica (PZM) na nadmorskoj visini 107 m n.m., te piezometra Valun (PZV) na nadmorskoj visini 132,5 m n.m. Detaljan opis spomenutih piezometarskih bušotina sadržan je u elaboratima Geoida Beroš (2021), te GEO-5 (2022a, 2022b).

U bušotinama su postavljeni mjerni uređaji za praćenje razina podzemnih voda, temperature i električne vodljivosti čije informacije služe za ocjenu rizika od prodora zaslanjene morske vode u jezerski sustav. U piezometru Valun uređaji su postavljeni na -8 m n.m. i na -57,5 m n.m., a u piezometru Martinšćica na -3,9 m n.m. i -83 m n.m.

U sklopu UKV projekta postavljeni su i mjerni uređaji na mjestima koncentriranog istjecanja podzemnih voda u more, i to na vrulji Vrutak na zapadnoj obali Cresa, te na priobalnom izvoru Lukavac.

Na zapadnoj obali Cresa, u istoimenoj uvali, nalazi se vrulja Vrutak koja je cca 3,3 km udaljena od Vranskog jezera. Vrulja je stalna i po kazivanju creskih ribara nikada vidljivo ne mijenja količinu istjecanja. Vrulja ima promjer oko 8-10 m, a središte je udaljeno od obale cca 14 m (JVP Labin, 1991). Morsko dno na kome izbija vrulja nije ravno, već se blago izdiže prema obali. Pojava istjecanja bočate vode zapaža se i na više mjesta na obali uvale Vrutak, a snimanjem terena termo kamerom zapažena je pojava još jedne znatno manje vrulje u blizini. U sklopu UKV projekta, postavljen je mjerni uređaj 10. studenoga 2021. godine u vrulju Vrutak na oko 8,5 m dubine (Slika 2.2-10). Podaci su prikupljeni samo do 12. srpnja 2022. godine kada je došlo do pomicanja uređaja iz vrulje, te je mjerni uređaj pronađen cca 5 metara od same vrulje.



Slika 2.2-10. Postavljanje mjernog uređaja u vrulji Vrutak

Priobalni izvor Lukavac nalazi se na istočnoj obali Cresa, lociran u istoimenoj maloj uvali udaljenoj cca 4,5 km od Vranskog jezera (Slika 2.2-11). Istjecanje s izvora je zbog njegovog niskog položaja pod jakim usporom mora te su izvorske vode u direktnom kontaktu s morem. Mjerni uređaj postavljen je 17. studenoga 2021. godine i motrenja su provođena do 31. kolovoza 2022. godine.

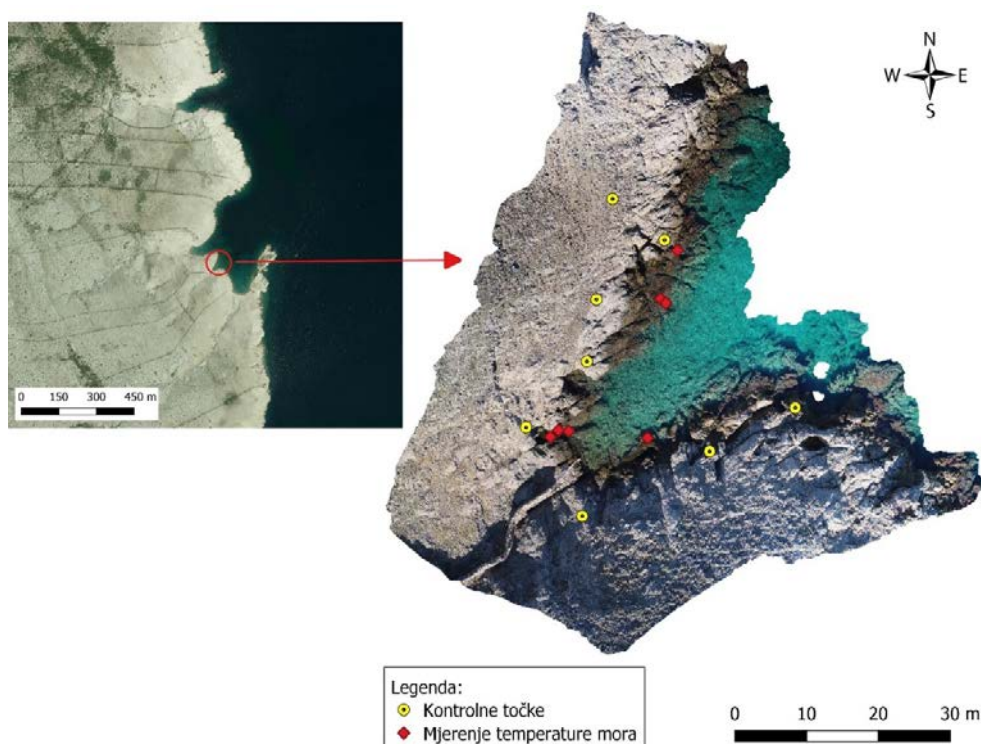


Slika 2.2-11. Uvala Lukavac i mjesto istjecanja podzemnih voda

U sklopu provedenih istraživanja analize međuodnosa mora i voda jezerskog sustava i pripadajućeg vodonosnika na pilot području otoka Cresa, koristile su se suvremene metode daljinskih istraživanja – analize termalnih snimki snimljene bespilotnom letjelicom. Provedena su istraživanja na mjestima gdje se odvija najintenzivnija komunikacija podzemnih voda i mora - Vrulja Vrutak na zapadnoj, priobalni izvor Lukavac na istočnoj obali Cresa, kao i vrulja na području Valuna. Zahvaljujući svojim termalnim karakteristikama priobalne izvore i vrulje, čije vode imaju uglavnom bitno različite temperature od priobalnog mora, relativno je lako uočiti na daljinskim termalnim snimcima – za veća vodna tijela satelitskim, a za manja dobivenim bespilotnim letjelicama. Slatka voda otječe priobalnim izvorima u relativno plitkom priobalnom pojasu te zbog razlike u gustoći na površini mora formira se sloj slatke vode. Temperatura mu se razlikuje od temperature okolnoga mora – uglavnom je niža i ta se razlika registrira na senzoru kao temperaturna anomalija. Što je razlika u temperaturama veća, anomalija je uočljivija. U ljetnim mjesecima, u kojima su i provedena snimanja, temperaturne razlike su izraženije pa je samim time lakše detektirati i izdvojiti temperaturne anomalije.

Za snimanje termalnog odraza na vodnim površinama koristila bespilotna letjelica opremljena termalnom kamerom za snimanje u infracrvenom spektru. Trodimenzionalni oblaci točaka iz niza fotografija snimljeni bespilotnom letjelicom, generirani su korištenjem Structure-from-Motion (SfM) fotogrametrije, a obrađeni su i georeferencirani u programu Agisoft Metashape (<https://www.agisoft.com/>). Metashape je profesionalni softverski alat za izradu 3D modela iz fotografija koji se koristi u fotogrametriji. U ovom slučaju korištena je profesionalna verzija koja je dizajnirana za izradu GIS sadržaja.

Korištena je indirektna metode georeferenciranja u programu Agisoft Metashape. Indirektna ili konvencionalna metoda georeferenciranja oblaka točaka temelji se na poznatim koordinatama minimalno tri točke oblaka točaka (GF Rijeka, 2019). Pozicije točaka odredile su se pomoću geodetskog instrumenta, a same točke posebno su se označile zbog lakšeg prepoznavanja na terenu i generiranom oblaku točaka. Te točke nazivaju se kontrolne točke (Ground Control Points – GCP). Na području izvora Lukavac radi sigurnosti koristilo se osam kontrolnih točaka (Slika 2.2-12).



Slika 2.2-12. Prikaz pozicija kontrolnih točaka i pozicija mjerenja temperature mora

Nakon učitavanja u program provjerena je kvaliteta termalnih snimaka (ukupno 1024 fotografija), te su uklonjene sve fotografije loše kvalitete. Nakon toga je proveden SfM algoritam, te su snimljeni oblaci točaka referencirani.

Greška na GCP je oko 5 mm na svim obrađenim oblacima točaka. Nakon dovršetka georeferenciranja i fotogrametrijske obrade slijedi korak generiranja 3D gustog oblaka točaka. Prilikom generiranja 3D modela odabran je oblak točaka visoke razlučivosti. Dobiven je model rezolucije 4x4 cm.

Radi kalibracije modela, u vrijeme snimanja, provodila su se i mjerenja površinske temperature mora pomoću mjernih uređaja CTD Divera. Dati pristup predstavlja grubu aproksimaciju zbog okolnosti da se proces prijenos topline između dva medija (vode s kopna i mora) kompleksan, a da na njega utječe i stanje stratificiranosti mora, morske struje, klimatske prilike i slično.

Tijekom sva tri terenska mjerenja, na izvoru Lukavac mjerila se protoka pomoću standardnog elektromagnetskog hidrometrijskog krila OTT NAUTILUS 184155 (sa brojačem OTT SENSE Z300), a obrada podataka vodomjerenja metodom brzina/površina za otvorene kanale (prema normi HRN ISO 748) programom VODOMJERENJA, razvijenom u okviru hidrološke službe Državnog hidrometeorološkog zavoda. Također uzeti su uzorci vode radi saznanja o električnoj vodljivosti i kloridima koji su obrađeni od strane djelatnika laboratorija Vodoopskrbe i odvodnje Cres Lošinj d.o.o.

2.3. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli

Blatsko krško polje nalazi se u zapadnom dijelu otoka Korčule. Najveće je od niza krških polja koja su rasprostranjena u središnjem dijelu toga otoka, a čija nadmorska visina postupno opada od istoka prema zapadu, do najniže kote u Blatskom polju, oko 6 m n.m. U prošlosti je Blatsko polje često plavilo, što je ugrožavalo poljoprivredno iskorištavanje ovog važnog područja pogodnog za uzgoj brojnih primorskih kultura. Zbog toga je 1912. godine prokopan tunel duljine 2241 m, kojim se poplavne vode odvođe prema uvali Bristva, lociranoj na sjevernoj obali otoka. Osim toga, izgrađen je i niz hidromelioracijskih kanala za odvodnju suvišnih površinskih voda prema odvodnom tunelu.

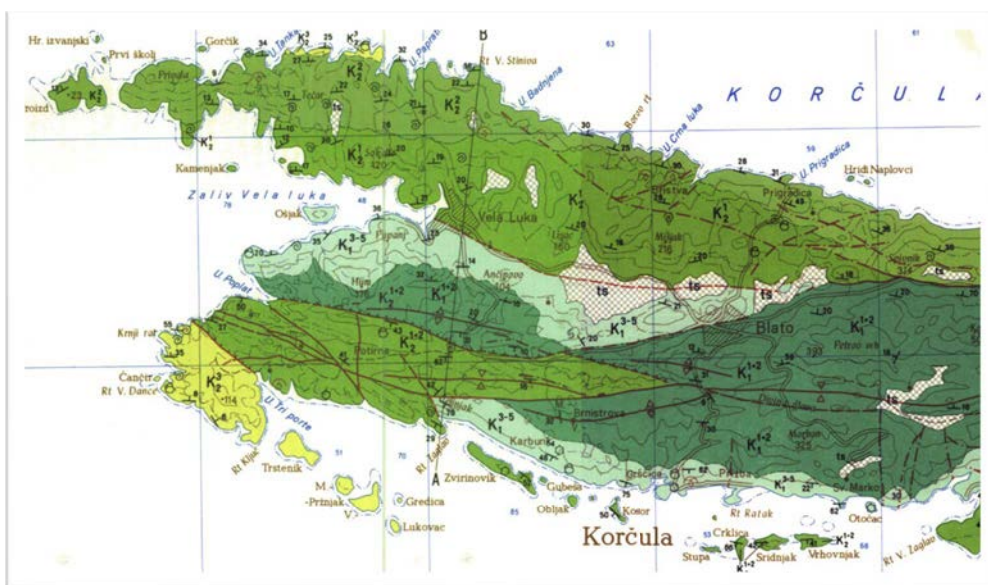
Blatsko polje je sredinom prošlog stoljeća (Anić, 1954; Šikić, 1956) izdvojeno kao najpovoljnija lokacija za osiguranje stalne vodoopskrbe. Istraživanja koja su uslijedila (Herak, 1956; Magdalenić, 1960) rezultirala su izgradnjom Blatskog vodovoda 1961. godine, koje je i danas jedini prirodni izvor pitke vode na otoku Korčuli, a koristi se za vodoopskrbu Blata, Vele Luke i Smokvice. Vodovod Blato d.o.o. sastoji se od osam zdenaca od kojih se za vodoopskrbu koriste četiri kopana zdenca dubine 6,5 do 9,5 m. To su Studenac, Franulović-Prčalo, Prbako i Gugić (Slika 2.3-1). Maksimalna ukupna količina crpljenja iznosi oko 60 L/s, od čega najviše na Studencu (min. 30 L/s, maks. 50 L/s) (Rubinić et al., 2011c). Preostala četiri zdenca koriste se za zalijevanje polja, rade u ljetnim mjesecima, a procjenjuje se da koriste između 5 i 10 l/s zajedno.

Zbog brojnih prirodnih i antropogenih nepovoljnih okolnosti, blatski vodonosnik i vodoopskrba koja se na njemu temelji su vrlo osjetljivi. S obzirom na to da se nalazi u priobalnom području na niskim nadmorskim visinama i da je izgrađeno uglavnom od dobro propusnih okršenih karbonatnih stijena, blatski vodonosnik je izložen nepovoljnom utjecaju mora i pod stalnim je rizikom od prodora mora i zaslanjenja. Pored toga, isušivanje polja dovelo je do promjene dinamike i smanjenja razine podzemne vode. S druge strane, Blatsko polje intenzivno se iskorištava za poljoprivredu, što predstavlja opasnost od pogoršanja kvalitete vode. Situaciju dodatno pogoršavaju klimatske promjene, prema kojima se područje Mediterana svrstava u jedno od globalno najugroženijih (Bolle, 2003; Lionello et al. 2006).

2.3.1. Geološki i hidrogeološki opis sliva

2.3.1.2. Geološke značajke istraživanog područja

Šire područje blatskog vodonosnika temeljito je geološki istraženo u više navrata zbog značajnih podzemno-vodnih bogatstava. Geološka struktura ovog područja razvijena je u pravcu pružanja istok – zapad (tzv. „hvarski“ pravac pružanja), te obilježena prvenstveno reverznim rasjedanjem (što upućuje na kompresijski karakter područja) i prisutnošću transkurentnih smičućih rasjeda, od kojih se najviše ističu oni lijevi (Bačani et al., 2002). Općenito, pravac pružanja istok – zapad obilježava reljef cijelog otoka, pa taj pravac imaju gotovo svi grebeni ovog dijela otoka. Velika krška polja javljaju se u nizu, a nadmorska visina im opada od istoka prema zapadu (Šarin & Singer, 1990): Kapja Velika (oko 120 m n.m.), Mala i Velika Krtinja (oko 60 m n.m.), Velo polje (oko 18 m n.m.) i najrasprostranjenije Blatsko polje (oko 7 m n.m.).

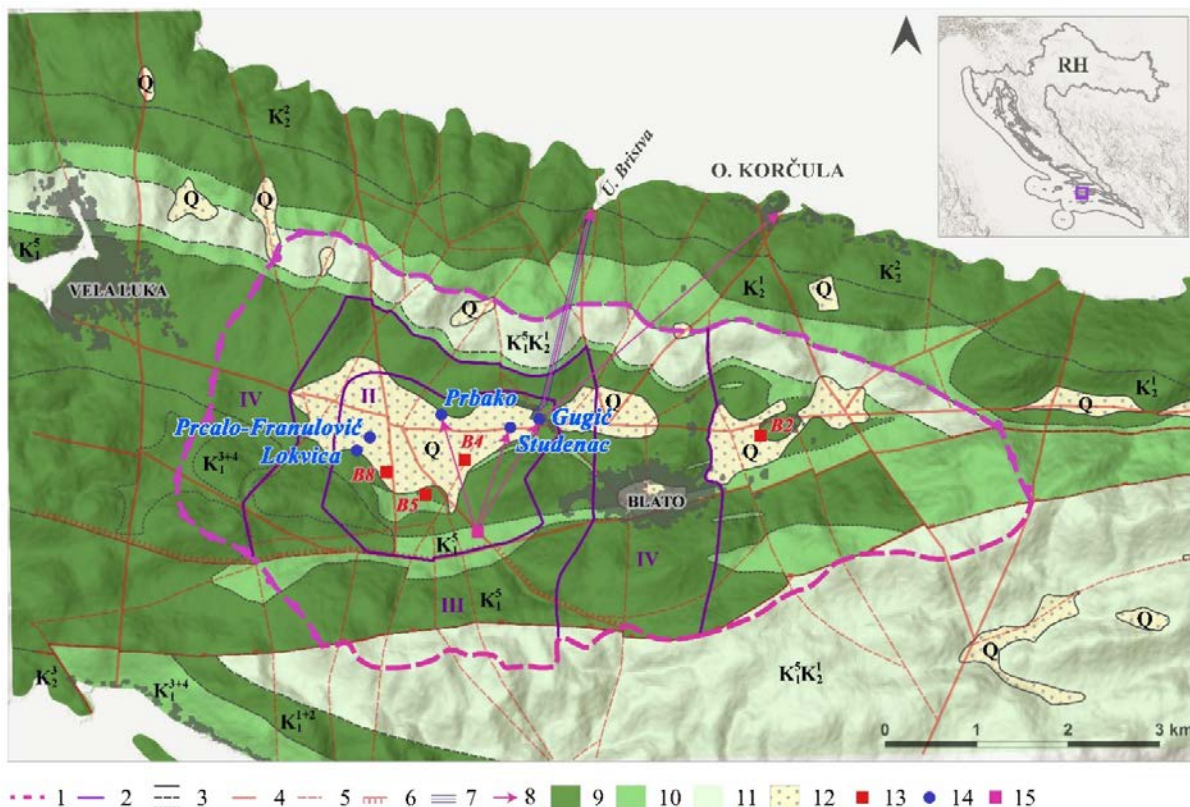


Slika 2.3-1. Isječak Osnovne geološke karte – list Lastovo i Palagruža (Korolija & Borović, 1975).

Osnovna geološka karta (Slika 2.3-1; Korolija & Borović, 1975) je bila temelj za istraživanja koja su uslijedila te dovela do novijih spoznaja o geologiji ovog dijela otoka Korčule. Izdvojeni geološki, stratigrafski i litološki članovi koji izgrađuju teren zapadnog dijela otoka Korčule jedan su od osnovnih faktora koji su se uzimali u obzir prilikom izrade hidrogeološke karte ovog područja i određivale značajke blatskog vodonosnika (Šarin & Singer, 1990; Bačani et al., 2002, 2004; Terzić & Marković, 2005; Terzić et al., 2016).

2.3.1.2. Hidrogeološke značajke blatskog vodonosnika

Vodonosnik Blatskog polja nalazi se u antiklinalnoj strukturi „hvarskog“ pružanja i to pretežno u njezinom sjevernom krilu. S južne strane vodonosnik je ograničen relativnom hidrogeološkom barijerom izgrađenom od izmjena dolomita i vapnenaca s prijelaza jure u kredu (J_3K_1). Sam vodonosnik sastoji se od karbonatnih stijena (vapnenaca, dolomita, breča i prijelaznih tipova) kredne starosti. Polja su prekrivena crvenicom s kršjem, debljine u Blatskom polju do 7 m (Bačani et al., 2006), kojoj su prethodni istraživači uglavnom davali dosta propustan karakter (Šarin et al., 1992) pa ju se praktički može smatrati sastavnim dijelom vodonosnika, a ne barijerom ili „zaštitnim“ slojem. Moguće je tek reći kako je taj kvartarni nanos ipak za red veličine niže vodopropusnosti od okršene stijenske mase, zbog čega je infiltracija vode kroz polje usporena, kao i samo strujanje. U hidrogeološkom smislu vodonosnik je otvoren prema zapadu i prema sjeveru tako da se slatke vode iz Blatskog polja dreniraju u more duž tektonski oštećenih zona i slojnih ploha preko niza bočatih izvora duž sjeverne i zapadne obale. Provedenim isušivanjem polja promijenili su se uvjeti istjecanja pa i dinamika kolebanja podzemnih voda, tako da je dio nekadašnjih izvora zahvaćen u vidu bunara.



Slika 2.3-2. Hidrogeološka karta slijeva blatskog vodonosnika s ucrtanim zonama sanitarne zaštite crpilišta Vodovoda Blato d.o.o. (modificirano, prema Terzić i Marković, 2005). Legenda: 1 granica slijeva; 2 granice zona sanitarne zaštite (II-IV); 3 geološke granice; 4 normalni rasjed; 5 pretpostavljeni rasjed; 6 reverzni rasjed; 7 odvodni tunel; 8 podzemna veza utvrđena trasiranjem; 9 propusna stijenska masa; 10 srednje propusna stijenska masa; 11 slabo propusna stijenska masa; 12 kvartarno tlo naizmjeničnih svojstava; 13 bušotine; 14 zdenci; 15 lokacija ubacivanja trasera.

Hidrogeološka svojstva stijenskih masa, kao i njihov položaj u prostoru, jedan su od osnovnih elemenata pri definiranju krških slijevova i hidrogeološke funkcije stijena. Slijev blatskog vodonosnika izgrađen je od karbonatnih stijena različite propusnosti na temelju čega je podijeljen u četiri osnovne skupine (Terzić & Marković, 2005; Slika 2.3-2):

- Propusna stijenska masa;
- Srednje propusna stijenska masa;
- Slabo propusna stijenska masa;
- Kvartarno tlo naizmjeničnih svojstava.

U **propusnoj stijenskoj masi** (K_1^{1+2} , K_1^{3+4} , K_1^5 , K_2^1 , K_2^2 , K_2^3) prevladavaju vapnenci, te su pojave dolomitnih, dolomitičnih ili dolomitiziranih stijena sporadične. Izgrađuju najveći dio površine slijevnog područja, a protežu se i ispod kvartarnih taloga te predstavljaju daleko najveći dio samog vodonosnika. Visoka propusnost ovih stijena dvojakog je značaja - s jedne strane, visoka je propusnost dobra za zahvat podzemne vode; međutim, kako je riječ o otočkom vodonosniku, u ovako propusnoj stijeni omogućen je dubok i znatan prodor morske vode u vodonosnik. S južne strane ove su vodonosne stijene barijerom odvojene od utjecaja mora, no takvih elemenata je vrlo malo i gotovo ništa na sjevernoj i zapadnoj strani vodonosnika, te se zbog visoke propusnosti karbonatnih stijena i relativno niskih gradijenata slatke podzemne vode stvara relativno široka prijelazna zona, odnosno zona miješanja slatke i slane vode, tipična za sve, a pogotovo krške, priobalne i otočke vodonosnike (Terzić et al., 2021; Terzić et al., 2022). Turonske se stijene, ipak, mogu smatrati relativno manje propusnima – tankouslojeni do pločasti vapnenci s prisutnosti glinovite komponente ipak usporavaju podzemne tokove. Nažalost, relativno su male debljine i povoljne hidrogeološka uloga im je time znatno reducirana. Poroznost ove stijenske mase je

pukotinsko – disolucijska, a njena hidrogeološka funkcija u terenu uglavnom je propusno područje u kojem je moguća infiltracija i nakupljanje podzemne vode, te formiranje vodonosnika

Srednje propusna stijenska masa – K_1^{3+4} , K_1^5 , K_2^1 – predstavljena je uglavnom dolomitima i kalcitičnim kasnodijagenetski dolomitima. U istraživanom području pojavljuju se u debljim serijama i slojevima unutar propusnije stijenske mase, te su često povoljnija sredina za zahvat podzemne vode na otocima. Naime, mjestimično su i ove stijene znatno propusne i okršene, ali ipak su uglavnom slabije propusnosti što sprječava prekomjeran prodor mora. Poroznost im je pukotinsko – disolucijska, a propusnost je izravno ovisna o stupnju tektonske razlomljenosti i okršenosti. Prema tim kriterijima ova stijenska masa može imati funkciju propusnog područja, ali i lokalne, relativne barijere, ovisno o tektonskoj poremećenosti, debljini i položaju u strukturi. Ove stijene izgrađuju dvije relativno uske zone oko slabije propusnih K_1^5, K_2^1 stijena.

Slabo propusna stijenska masa u području istraživanja predstavljena je dolitima i dolomitnim brečama uglavnom s prijelaza jure u kredu i nekim krednim stijenama (J_3K_1 ; K_1^5, K_2^1). I ova je hidrogeološka jedinica tektonski dobro razlomljena i dijelom okršena; no u znatno manjoj mjeri nego prethodne dvije skupine, pa ih se može smatrati slabije propusnima i tamo gdje su prisutne u dovoljnoj debljini smatrati hidrogeološkom barijerom. Dakle, poroznost je pukotinska, a funkcija u terenu je relativna barijera koja omeđuje južnu stranu blatskog vodonosnika. J_3K_1 stijene izgrađuju teren južno od Blata i predstavljaju zapravo ključan čimbenik za stvaranje ovako izdašnog vodonosnika u zoni samog Blatskog polja.

Kvartarno tlo naizmjeničnih hidrogeoloških svojstava – Q – ima dvojak značaj, ovisno o debljini i kontinuitetu prostiranja u području istraživanja. Posebno se misli, i kartografski ističe kvartarno tlo u samim krškim poljima, gdje je prisutno u značajnijoj debljini, kontinuirano. Prema dostupnim podacima iz zdenaca i geofizičkih istraživanja debljina tla u Blatskom polju je do 7 m, a uglavnom je riječ o 3-4 m debljine. Iako u sastavu prevladava crvenica, tlo je građeno od mješavine gline, praha, pijeska i kršja okolnih stijena, pa mu tako i propusnost i funkcija ovise prvenstveno o granulometrijskom sastavu i debljini. Debljine kvartarnog tla u ostalim manjim krškim poljima su uglavnom manje od onih u Blatskom polju. Izvan krških polja riječ je o vrlo tankom pokrivaču između izdanaka stijenske mase, a tek se na nekim dijelovima terena mogu odijeliti značajnije površine u kojima se pokrivenost kvartarom proteže dovoljno za isticanje u mjerilu proučavanja. Prvi značajniji hidrogeološki istraživači ovog terena (Šarin et al., 1992) su crvenicu s kršjem klasificirali kao „vrlo propusne naslage“. Moguće je zaključiti kako u višim slojevima kvartarnog nanosa (u Blatskom polju) prevladava sitnozrnata i glinovita komponenta, pa su tu naslage slabije propusne. To se prvenstveno odražava na infiltraciju (usporava je i usmjerava u kanale kojima višak vode površinski otječe). U dubljim slojevima zastupljenija je pjeskovita i krupnozrnata komponenta (uz i dalje prisutne prah i glinu), pa se taj dio kvartarnih naslaga može smatrati sastavnim dijelom vodonosnika, a ne barijerom. To se posebno odražava na crpljenje vodoopskrbnih zdenaca Blatskog polja pri višim razinama podzemnih voda. Koji dio iscrpljene vode potječe iz kvartara, a koji iz karbonatnog vodonosnika u podlozi trebalo bi istražiti detaljnim hidrokemijskim istraživanjima u različitim hidrološkim prilikama, s početnom postavkom da je udio vode iz kvartara znatno veći u vodnom dijelu godine, a u sušnom pada gotovo na nulu.

Kako bi se kvaliteta podzemna voda, koja je najvažniji resurs pitke vode, mogla očuvati, nužno je odrediti površinu slijeva s kojeg se vodonosnik prihranjuje. Određivanje granice slijeva u krškim vodonosnicima, zbog njihovih izuzetno heterogenih svojstava, u najvećem broju slučajeva teško je odrediti s velikom sigurnošću. Granice slijeva najčešće su zonarne te se mijenjaju u vremenu i prostoru, ovisno o hidrološkim uvjetima (Lukač Reberski et al., 2022).

U slučaju blatskog vodonosnika, južna granica slijeva je najsigurnije određena. Ona je definirana geološkom granicom, i to tektonskom, između J_3K_1 dolomita i donjokrednih vapnenaca. Spomenuti dolomiti u prostoru imaju funkciju relativne barijere, a zbog svojeg položaja, orijentacije i debljine mogu se smatrati vrlo slabo propusnima. Oni sprječavaju prodor mora s juga u vodonosnik, kao i otjecanje slatke vode prema moru. Sve su ostale strane više ili manje „otvorene“ kako za istjecanje slatke vode, tako i za prodor klina morske vode kroz podzemlje.

Sjeverna granica slijeva teže je određiva, budući da se sve vode prirodno dreniraju prema sjeveru. Ovako postavljena granica određena je geološki po dolomitnom članu smanjene vodopropusnosti, ali koji je morfološki pretežno nagnut prema jugu pa voda koja padne na njega najvjerojatnije završava u slijevu Blatskog polja. Istočna i zapadna granica nisu određene geologijom, budući da pružanje strukture istok – zapad ne daje elemente za takav pristup. Tu je riječ o zonskoj razvodnici, dakle razvodnici koju je teško opisati linijom, jer ona znatno varira, ovisno o razinama podzemne vode. To je razvodnica unutar kontinuiteta stijenske mase, a znatno smanjena „uzdužna“ (gledajući po strukturi) vodopropusnost dopušta stvaranje upravo takve – zonske razvodnice. Istočna je razvodnica određena u dijelu gdje se dolomitni članovi koji omeđuju slijev na sjeveru i jugu znatno približe, na manje od 1 km udaljenosti, a zapadna u području gdje Blatsko polje postupno prelazi u okršeni brežuljkasti krajolik prema Veloj Luci. Na temelju opsežnih istraživanja, ponajprije rezultata trasiranja i određivanja hidrogeoloških svojstava, određena je slijevna površina oko 28 km².

2.3.2. Monitoring podzemnih voda

Monitoring kakvoće i dinamike podzemnih voda Blatskog vodonosnika uspostavljen je na 9 lokacija:

- četiri vodoopskrbna zdenca: Studenac, Franulović-Prcalo, Prbako i Gugić ([slika 2.3-3](#)),
- povremenom izvoru Lokvica
- četiri istražne bušotine koje su ocijenjene kao perspektivne za zahvaćanje dodatnih količina pitke vode ([slika 2.3-4](#)).

Opis lokacija točka monitoringa

Vodoopskrbni zdenci smješteni su u rubnim dijelovima Blatskog polja ([Slika 2.3-2](#)). Najizdašniji zdenac istraživanog vodonosnika je Studenac, dubine 6,5 metara, s kotom dna na 0,24 m n.m. i izdašnosti od 25 do 50 l/s. Kopani zdenac Prbako dubine je 6,67 metara, s kotom dna na -0,22 m n.m. minimalne izdašnosti 4 l/s do maksimalne 7 l/s. Dubina zdenca Franulović-Prcalo je 6,96 m, kota dna zdenca nalazi se na 0,44 m n.m., a prema podacima Vodovoda Blato njegova izdašnost kreće se od 1 do 4 l/s. Najdublji zdenac koji se trenutno koristi u vodoopskrbi zapadnog dijela otoka Korčule je Gugić s dubinom od 9,47 metara i kotom dna na 0,3 m n.m., minimalna izdašnost ovog zdenca je 3 l/s, a maksimalna 6 l/s. U monitoring kakvoće podzemnih voda uključen je i povremeni izvor Lokvica ([Slika 2.3-2](#)), koji se nalazi u zapadnom dijelu Blatskog polja, iz kojeg za vrijeme visokih vode teku po glavnom kanalu prema estaveli Mali Studenac.

Na temelju prethodno provedenih istraživanja predstavnici Hrvatskih voda odredili su lokacije i dubine istražnih bušotina u svrhu definiranja mogućnosti zahvaćanja dodatnih količina podzemne vode za potrebe javne vodoopskrbe, te utvrđivanja mogućnosti zahvaćanja podzemne vode za potrebe navodnjavanja u okolnim poljima. Početkom 2020. godine izvedeno je osam istražnih bušotina, od kojih su četiri ocijenjene kao perspektivne. Sve istražne bušotine su projektirane na način da se u slučaju pozitivnog rezultata (izdašnosti bušotine koja omogućava ekonomski isplativ zahvat podzemne vode bez obzira na krajnju namjenu) mogu bez dodatnih intervencija na samoj bušotini koristiti kao eksploatacijski objekti, a četiri uključene u ovaj monitoring su zacijevljene ([Ostroški, 2020](#)). U rubnim dijelovima Blatskog polja nalaze se tri bušotine B4, B5 i B8, dok se četvrta, B2 nalazi u polju Velika Krtinja sjeverozapadno od naselja Blato ([Slika 2.3-2](#)). Na jugoistoku Blatskog polja na nadmorskoj visini od 9,04 metara smještena je bušotina B8, dubine 34,25 metara. Bušotina B5 nalazi se na jugu polja na nadmorskoj visini od 17,33 m n.m nalazi i dubine je 25,85 metara, dok je bušotina B4, dubine 25,64 smještena na jugozapadu polja na nadmorskoj visini od 7,16 metara. Bušotina B2 nalazi se na zapadnom dijelu polja Velika Krtinja na nadmorskoj visini od oko 70 m n.m i prohodna je nešto više od 81 metra ([Slika 2.3-4](#)).



Slika 2.3-3. A – vodoopskrbni, kopani zdenac Studenac, B – Vodoopskrbni, kopani zdenac Gugić, C - Franulović-Prcalo, D - Prbako



Slika 2.3-4. A – istražna bušotina B2, B - Istražna bušotina B5, C - Istražna bušotina B8, D- Istražna bušotina B4

Metodologija

U studenom 2021. godine uspostavljeno je opažanje dinamike na tri glavna vodoopskrbna zdenca (Studenac, Franulović-PrCALO i Gugić) postavljenjem multiparametarskih automatskih čitača s telemetrijskim očitanjem Aqua Troll 500, tvrtke In situ. Oprema je nabavljena u sklopu projekta UKV (slika 2.3-5). Čitači u satnim intervalima bilježe razinu podzemne vode, elektrolitičku vodljivost, temperaturu vode i zraka, sadržaj otopljenog kisika u vodi, vrijednosti pH te oksidativno-reduktivni potencijal. Oprema je postavljena u završnoj godini istraživanja zbog problema s nabavom opreme. Nažalost, zbog nedostatka vremena i tehničkih problema, prikupljeni podaci nisu dovoljno dobri za pouzdanu interpretaciju dinamike vodonosnika te iz tog razloga prikupljeni podaci neće biti prikazani u ovom izvještaju, niti biti interpretirani.



Slika 2.3-5. Multiparametarski automatski čitači Aqua Troll 500 tvrtke In situ s telemetrijskim očitanjem

U veljači 2021. godine, u četiri bušotine (B2, B4, B5 i B8) postavljeni su automatski čitači tvrtke Eijkelkamp koji u satnim intervalima bilježe temperaturu vode, tlak vodnog stupca pomoću kojeg se određuje razina podzemne vode i elektrolitičku vodljivost radi što boljeg uvida u dinamiku istraživanog vodonosnika.

U četiri terenske kampanje multiparametarskom sondom tvrtke Seba očitani su elektrolitička vodljivost, temperatura, sadržaj kisika i vrijednost pH u stupcu vode kako bi se dobio vertikalni profil promjena opažanih parametara. Navedeni parametri očitavani su po dubini s intervalom između 1 i 3 metra, ovisno o dubini bušotine.

Fizikalno-kemijski pokazatelji osjetljivi na promjene uvjeta okoliša, kao što su elektrolitička vodljivost (EC), temperatura vode (T), pH-vrijednost vode (pH) i sadržaj kisika u vodi (O₂), mjereni su *in situ* ručnom sondom tvrtke WTW prilikom svakog uzorkovanja. Također, na terenu, neposredno nakon uzimanja uzorka mjereno je sadržaj hidrogenkarbontih iona titrimetrijskom metodom sa sulfatnom kiselinom (1.6 N H₂SO₄) i kiselinsko–baznim indikatorima fenol–ftaleinom i bromkrezol–zelenim pomoću digitalnog titratora tvrtke HACH.

Sadržaj glavnih aniona (Cl^- ; SO_4^{2-}) i kationa (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+), te nitrata (NO_3^-) određen je neposredno nakon povratka s terena u hidrokemijskom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta pomoću ionskog kromatografa tvrtke Thermo Scientific (Thermo Scientific Dionex ICS-6000 HPIC System. Uzorci su prikupljeni u dvije polietilenske bočice volumena 100 i 200 ml koje su skladištene u terenski hladnjak na temperaturu od 4°C.

Analiza sadržaja stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika ($\delta^2\text{H}$) provodila se na uzorcima izvorskih voda direktnim uzorkovanjem u polietilenske bočice volumena 100 ml, koje su odmah skladištene u terenski hladnjak na temperaturu od oko 4°C do trenutka analiziranja. Uzorci su analizirani u hidrokemijskom laboratoriju Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatskog geološkog instituta, na visoko preciznom uređaju Picarro L-2130i Isotope and Gas Concentration Analyzer.

Elementi u tragovima (Cu, Mn, Pb i Zn) analizirani su također u hidrokemijskom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta, pomoću polarografa 884 Professional VA, tvrtke Metrohm. Uzorci su prikupljeni u polietilenske bočice volumena 100 ml. Uzorak je na terenu filtriran (4 µm otvor filtera), a potom konzerviran nitratnom kiselinom.

Specifična mikroonečišćivala (Eng. Emerging contaminants) analizirana su jednokratno (studeni, 2022.) na dvije lokacije, zdencu Studenac i bušotini B2. Analizirano je ukupno 365 spojeva, od čega 109 iz grupe lijekova, 236 iz grupe pesticida, 6 antibiotika i 7 hormona. S obzirom na to da su očekivane koncentracije spomenutih spojeva izuzetno niske, u ng/l do µg/L, uzorci su uzeti sljedeći strogu proceduru uzorkovanja kako bi se na najmanju mjeru smanjila mogućnost kontaminacije uzorka. Analize su rađene u češkom laboratoriju (Vltava laboratory) koristeći EPA metodu 1694 (Axys Analytical Services, Ltd.) i validirane procedure. Analize su napravljene pomoću 1290 UHPLC (ultra-high-performance liquid chromatograph) u ESI+ and ESI modovima (electrospray ionisation, udruženu s Agilent 6495B Triple Quad MassSpectrometer (MS/MS). Detaljan opis analize i granice detekcije mogu se naći u radovima od [Selak et al. \(2022a, 2022b\)](#).

3. STANJE KLIME I KLIMATSKI MODELI

Za potrebe analize sadašnje klime i projekcija buduće klime na tri pilot područja uzeta su u obzir tri tipa klimatskih informacija: (1) vremenski nizovi srednje dnevne temperature zraka na 2 m i ukupne količine oborine na lokacijama meteoroloških postaja u mreži Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), (2) prostorna polja istih veličina dobivena geostatističkom interpolacijom za šire područje analiziranih lokacija te (3) rezultati simulacija regionalnih klimatskih modela za povijesnu i buduću klimu.

3.1. Metodologija i preporučena učestalost klimatološkog modeliranja

Za prikaz klimatskih uvjeta na području slivova najčešći izvor podataka su podaci s najbliže meteorološke postaje. Tako su u analizi općih klimatskih prilika korišteni podaci s meteoroloških postaja Zadar, Cres i Vela Luka. Analizirani su osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka referentnog klimatskog razdoblja 1981. – 2010. kao i koeficijent varijacije količine oborine. Prikazani su trendovi srednje sezonske i godišnje temperature zraka i količine oborine te je procijenjena njihova statistička značajnost pomoću Mann-Kendallovog testa (Gilbert, 1987). Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (engl. Standardized Precipitation Index, *SPI*) (McKee et al., 1993) i standardiziranog oborinsko-evapotranspiracijskog indeksa (engl. Standardized Precipitation Evapotranspiration Indeks, *SPEI*) (Vicente-Serrano et al., 2010) za mjesec rujan na 12-mjesečnoj skali (*SPI-12*, *SPEI-12*). Dok *SPI* uključuje samo podatke o količini oborine, vrijednosti indeksa *SPEI* pokazuju anomalije vodne ravnoteže, uključujući i podatke o temperaturi zraka za izračun potencijalne evapotranspiracije.

Iako su podaci s meteoroloških postaja reprezentativni za lokaciju i okolno područje, često nisu dovoljni da bi pružili sveobuhvatan uvid u klimatske prilike sliva. Razlozi mogu biti različiti, primjerice najbliža postaja nije unutar sliva ili je sliv izrazito geografski kompleksan pa lokacija postaje nije reprezentativna za čitavo područje sliva. Posljednje može biti slučaj kod većih slivova gdje postoje i veće razlike u nadmorskoj visini kao jednom od glavnih klimatskih faktora pri čemu lokacija meteorološke postaje nije reprezentativna za opis klime na čitavom rasponu nadmorskih visina. Alternativa je korištenje interpoliranih podataka, odnosno gridova koji temeljem većeg skupa podataka mjerenja i dodatnih prediktora daju procjenu vrijednosti klimatskih varijabli na čitavom području sliva uključivo i lokacije na kojima ne postoje mjerenja. Ovdje korišteni gridovi dio su novog skupa prostornih podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda koji sadrži prostorno interpolirane srednje mjesečne temperature zraka (Perčec Tadić et al., 2022) i mjesečne sume oborine za svaki mjesec pojedine godine iz razdoblja 1981.-2018. kao i mjesečne srednjake klimatske normale 1981.-2010. Za izradu mjesečnih karata korištena je metoda regresijskog kriginga kojoj je prethodila analiza kvalitete podataka izmjerenih na postajama. Analiza je obuhvaćala analizu homogenosti i nadopunu nedostajućih mjesečnih podataka. Prostorna obilježja diskutirana su usporedbom s mjerenjima. Kod procjene vrijednosti klimatskih parametara na lokacijama na kojima nema mjerenja regresijski kriging kombinira višestruku regresiju ovisnu o klimatskim faktorima (nadmorska visina, udaljenost od mora, geografska širina) i interpolaciju reziduala krigingom gdje su reziduali razlike izmjerenih vrijednosti i procjena regresijom. Korištene su statističke mjere koeficijenta determinacije (R^2) za procjenu uspješnosti regresijskog modela i korijen srednje kvadratne pogreške (*RMSE*) za ocjenu modela regresijskog kriginga (Perčec Tadić, 2010). Osim statističkih mjera važna je i vizualna usporedba mjerenja i interpoliranih mjesečnih vrijednosti. Detaljan opis metoda homogenizacije, interpolacije i ocjene uspješnosti na primjeru srednjih mjesečnih temperatura zraka dan je u Perčec Tadić et al. (2022). Iz srednjih mjesečnih vrijednosti razdoblja 1981.-2010. pripremljeni su i gridovi srednjih godišnjih vrijednosti kalendarske i hidrološke godine. Normala hidrološke godine se odnosi na nizove hidroloških godina od 1981./1982. do 2010./2011. Prostorne raspodjele meteoroloških parametara dane su za otok Cres i Korčulu te šire područje Zadra. Diskutirana je reprezentativnost pojedine meteorološke postaje za

ocjenu klime šireg pilot područja koja ovisi prvenstveno o rasponu nadmorskih visina područja i samom položaju meteorološke postaje. Nadmorske visine prikazane su digitalnim modelom terena rezolucije 1000 m koji je korišten i kao prediktor kod regresijskog kriginga.

U analizi klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX inicijative (Jacob et al., 2014; Kotlarski et al., 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017). Numerička prostorna diskretizacija u korištenim regionalnim klimatskim modelima dana je prostornim korakom od 12,5 km, čime se ostvaruje realistično uvažavanje osnovnih lokalnih klimatskih faktora. Simulacije su analizirane za razdoblje 1971.-2070. iako neki od korištenih modela sadrže ranija i kasnija razdoblja. Rubni i početni uvjeti regionalnih klimatskih modela su zadani simulacijama CMIP5 globalnih klimatskih modela (Taylor et al., 2012). Za povijesno razdoblje 1971.-2005. globalni i regionalni klimatski modeli koriste izmjerene vrijednosti koncentracija stakleničkih plinova. Za razdoblje 2006.-2070. isti modeli koriste RCP scenarije koncentracija stakleničkih plinova (Moss et al., 2010). U analizi su korištena tri RCP scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5. Jednu simulaciju razdoblja od 1971. do 2005. čini jedinstvena kombinacija izmjerenih koncentracija stakleničkih plinova te globalni klimatski model koji daje rubne uvjete regionalnom klimatskom modelu. Za razdoblje od 2006., koriste se navedeni RCP scenariji te je moguće imati istu kombinaciju globalnog i regionalnog klimatskog modela uz tri različita scenarija. U praksi, zbog ograničenih računalnih kapaciteta nisu ostvarene kombinacije svih postojećih scenarija te globalnih i klimatskih modela. Za potrebe ovog projekta koristimo 14 dostupnih kombinacija za scenarij RCP2.6, 22 dostupne kombinacije za scenarij RCP4.5 te 39 dostupnih kombinacija za scenarij RCP8.5.

Za izdvojiti je još tri metodološka elementa u analizi klimatskih simulacija:

1. Iako se prijelaz iz povijesnih simulacija u projekcije u modelima događa (prema protokolima CMIP i CORDEX inicijativa) u prijelazu s 2005. na 2006., a povijesna klima u analizi mjerenja je definirana kao razdoblje od 1981. do 2010., ovdje je definirano isto referentno razdoblje i za klimatske modele. Uključivanje 5 godina iz pojedinog RCP scenarija ne utječe značajno na referentnu klimu pojedinog modela jer su razlike između RCP scenarija manjeg intenziteta u prvim desetljećima 21. stoljeća. Ipak, kako bismo jasno razdvojili utjecaj RCP scenarija, analiza uspješnosti regionalnih klimatskih modela u povijesnom referentnom razdoblju provedena je pojedinačno za svaki RCP scenarij.
2. Za potrebe hidrološkog modeliranja unutar projekta UKV provedeno je statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka u vremenskim nizovima mjesečne temperature zraka na 2 m (aditivna korekcija) i mjesečnih količina oborine (relativna korekcija). Korištena metodologija je opisana u Gajić-Čapka et al. (2018). Rezultati regionalnih klimatskih modela su direktno statistički obrađeni u odnosu na DHMZ mjerenja te su demonstrirani efekti statističkih obrada na razlike između projekcija za buduće razdoblje 2041.-2070. u odnosu na referentno povijesno razdoblje 1981.-2010. te utjecaj iste obrade na linearni trend godišnje temperatura zraka na 2 m i godišnjih količina oborine kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070.
3. Rezultati regionalnih klimatskih modela prikazani su pojedinačno i statističkom obradom ansambla. U slučaju statistike ansambla, korištene su tri mjere:
 - 3.1. srednjak ansambla: srednjak svih simulacija povijesne klime odnosno projekcija buduće klime ovisno o vremenskom razdoblju,
 - 3.2. raspon ansambla: definiran minimalnom i maksimalnom vrijednošću sustavne pogreške ili signala klimatskih promjena za pojedinačni mjesec ili razdoblje,
 - 3.3. rasap ansambla: standardna devijacija svih simulacija povijesne klime odnosno projekcija buduće klime ovisno o vremenskom razdoblju. Standardnu devijaciju na razini članova ansambla klimatskih modela je potrebno razlikovati od standardne devijacije mjesečnih vrijednosti u pojedinom klimatskom modelu.

Simulacije regionalnih klimatskih modela su često treći korak nakon definiranja scenarija koncentracija stakleničkih plinova i provođenja simulacija globalnih klimatskih modela. Razne modelarske i istraživačke grupe koordiniraju izradu simulacija pod zajedničkim protokolima. Tako npr. CMIP (<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>) koordinira izradu simulacija koristeći globalne klimatske modele, a CORDEX (<https://cordex.org/>) koordinira izradu simulacija koristeći regionalne klimatske modele. Svaki novi ciklus koordiniranih klimatskih simulacija uobičajeno uključuje modele s povećanom prostorom rezolucijom (često prateći razvoj računalnih mogućnosti) i modele s poboljšanom kvalitetom simulacija u smislu manjih sustavnih pogrešaka. Rezultati različitih simulacija klime prolaze kroz uobičajeni postupak izrade znanstvenih publikacija koje su osnova za izradu izvješća Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC). Zadnjih nekoliko izvješća IPCC-a: AR4 iz 2007. (<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>), AR5 iz 2013. (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>) te AR6 iz 2021. godine (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>) važan su poticaj za novi krug analiza s poboljšanim verzijama klimatskih modela. Stoga preporučujemo da se lokalizirane procjene očekivanih klimatskih promjena provode svakih 5 do 10 godina ovisno o mogućnostima financiranja te dostupnosti stručnih i znanstvenih kapaciteta za korištenje sve naprednijih i složenijih klimatskih produkata.

3.2. Pilot područje Bokanjac – Poličnik

Klima pilot područja sliva Bokanjac – Poličnik kod Zadra analizirana je prema podacima meteorološke postaje Zadar ($h = 5 \text{ m}$, $\phi = 44^{\circ}08' \text{ N}$, $\lambda = 15^{\circ}13' \text{ E}$) najbliže predmetnom pilot području (Pog. 3.2.1). Klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine (Pog. 3.2.2). Buduća klima i klimatske promjene prikazane su rezultatima klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu (Pog. 3.2.3). Korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX inicijative (Jacob et al., 2014, Kotlarski et al., 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017).

3.2.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Zadar

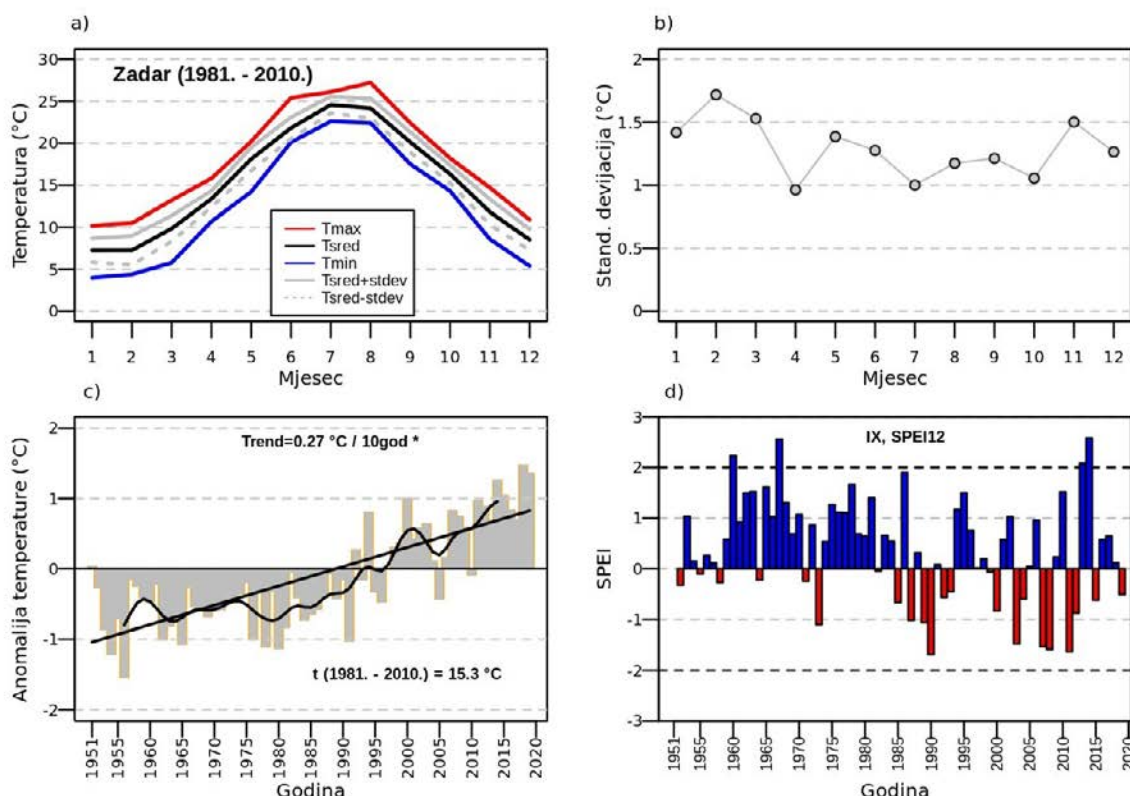
U ovom poglavlju prikazane su opće klimatske karakteristike na području sliva Bokanjac – Poličnik te anomalije i opažene promjene temperature zraka i količine oborine. Godišnji hodovi pojedinog klimatološkog elementa i njihova međugodišnja varijabilnost analizirani su prema podacima meteorološke postaje Zadar za referentno klimatološko razdoblje 1981.-2010. (potpoglavlje 3.2.1.1), dok je analiza trenda te ocjena sušnosti/kišnosti za pojedinu godinu provedena za najdulje raspoloživo razdoblje podataka, 1951.-2019. (potpoglavlje 3.2.1.2). Rezultati su uspoređeni s ranijom klimatološkom analizom na istom području koja je provedena za potrebe projekta CC-Waters (Gajić-Čapka et al., 2010), a za koju je korišteno referentno klimatološko razdoblje 1961.-1990.

3.2.1.1. Opće klimatske karakteristike

Područje Zadra nalazi se veći dio godine u cirkulacijskom području umjerenih širina, a ljeti pod utjecajem azorske anticiklone koja sprečava prodore hladnog zraka na Jadran prevladavaju značajke suprotropske klime (Zaninović et al., 2008). Jedan od najvažnijih modifikatora klime ovog područja je more, pa se ova klima može nazvati primorskom. Na obali i otocima osobito se očituje klimatsko djelovanje toplinskih razlika između kopna i mora na zračno strujanje odnosno razvoju obalne cirkulacije. Osim mora, važan modifikator klime ovog područja je blizina Velebita koji svojim položajem predstavlja važnu klimatsku pregradu između morske i kopnene klime. Razvijena

orografija Velebita sprečava pristup atmosferskim tvorbama malih razmjera u zadarsko primorje ili smanjuje njihov utjecaj na vrijeme u Zadru (Kraljev et al., 2005). Blizina prostranog kopnenog područja Ravnih kotara u zaleđu ima važan toplinski učinak na ovom području koji čini temperaturne ekstreme izrazitijim.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Kottek et al., 2006; Penzar & Makjanić, 1978), koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, područje Zadra ima umjereno toplu kišnu klimu (C) kojoj odgovara srednja temperatura najhladnijeg mjeseca viša od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ i niža od $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najsušni mjesec je u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) s manje od 40 mm oborine koja je bar tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka s). Ljeta su vruća sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (oznaka a). Konačna Köppenova oznaka za klimu na području Zadra je Csa.



Slika 3.2-1. (a) Godišnji hod srednje, srednje minimalne i maksimalne mjesečne temperature zraka i (b) standardne devijacije u razdoblju 1981.-2010. (c) Vremenski niz odstupanja srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) na 12-mjesečnoj skali za rujna (hidrološka godina), na postaji Zadar za razdoblje 1951.-2019.

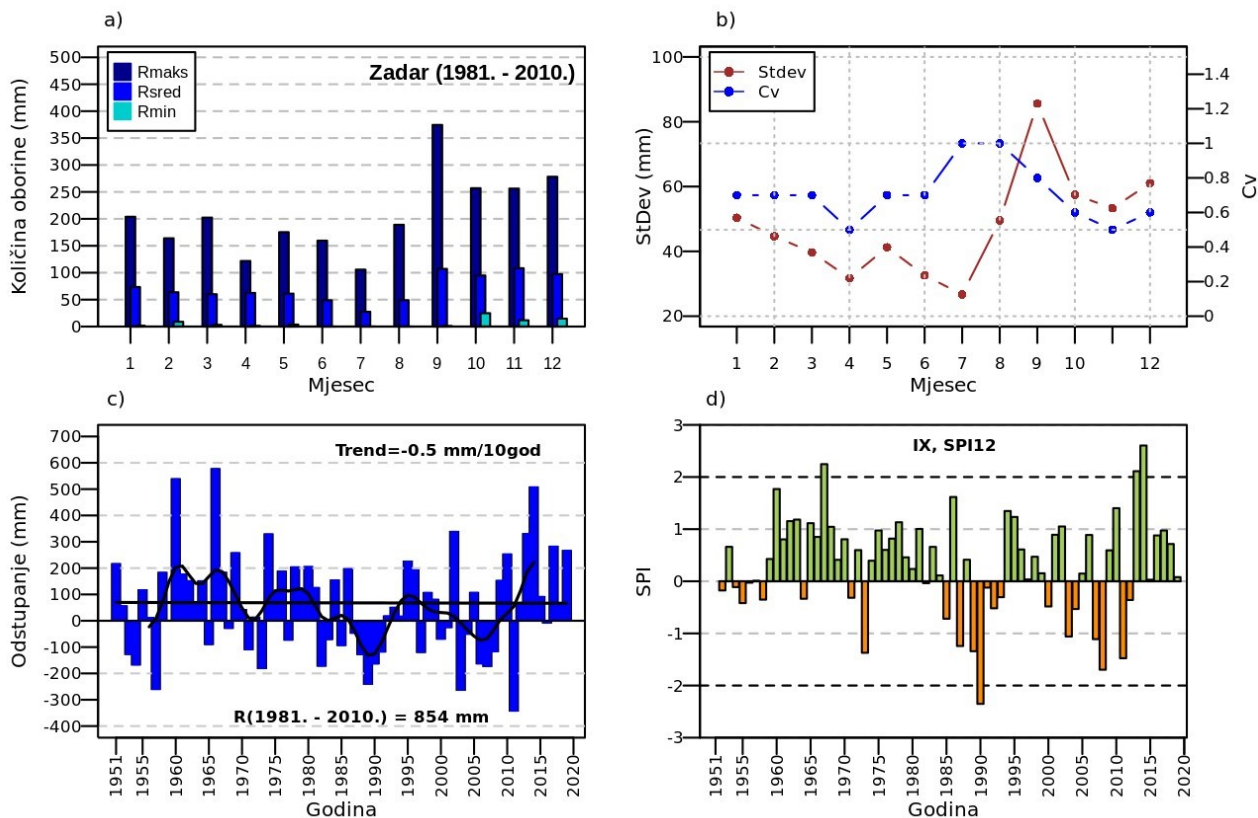
Srednji godišnji hod temperature zraka na postaji Zadar ima jasan valni oblik s maksimumom u srpnju ($24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), te minimumom u siječnju i veljači ($7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Slika 3.2-1a). Utjecaj mora na godišnji hod temperature zraka očituje se u sporom jesenjem ohlađivanju i još sporijem proljetnom grijanju, tako da je proljeće u prosjeku hladnije od jeseni za $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tablica 3.2-1). Zbog jakog utjecaja mora koji ublažava temperaturne ekstreme, vrijednosti standardnih devijacija upućuju na podjednaku stabilnost temperature zraka tokom godine (od $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nešto veće odstupanje može se očekivati u veljači ($1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) te ožujku i studenom ($1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), a najmanje u travnju i srpnju ($1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Slika 3.2-1b). Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Zadar iznosi $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vrijednosti srednje godišnje temperature u analiziranom 30-godišnjem razdoblju kretale su se od $14,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Standardna devijacija je na godišnjoj razini manja od sezonskih vrijednosti i iznosi $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Usporedbom s prethodnim razdobljem, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010), srednja godišnja temperatura zraka se povećala za $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, a stabilnost godišnje srednje dnevne temperature zraka se smanjila za $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ što je posljedica povećanja nestabilnosti temperature zraka u ljetnim mjesecima. U Tablici 3.2-1 navedene su i vrijednosti percentila koji određuju (empirijsku) vjerojatnost prekoračenja ekstremnih vrijednosti temperature zraka. Razlika između 2. i 98.

percentila veća je zimi nego ljeti. Usporedbom s rezultatima iz ranijeg razdoblja, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010), raspon percentila se u novijem razdoblju povećao u svim sezonama. Pogledamo li odstupanja između medijana (50. percentila) i 2. odnosno 98. percentila, koje bi u slučaju normalne i stacionarne razdiobe trebale biti jednake, u proljeće je uočeno veće odstupanje 98. percentila od medijana nego što je to slučaj za lijevi dio razdiobe, ukazujući na moguće povećanje asimetrije proljetne razdiobe srednje dnevne temperature zraka.

Tablica 3.2-1. Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka (u °C) na postaji Zadar, za razdoblje 1981.-2010.

| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|--------------|------|----------|-------|-------|--------|
| sred | 7,7 | 13,8 | 23,5 | 16,1 | 15,3 |
| stdev | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,6 |
| maks | 10,2 | 15,8 | 26,2 | 17,7 | 16,3 |
| min | 5,6 | 11,6 | 22,1 | 14,5 | 14,2 |
| Percentili | | | | | |
| 1. | 5,8 | 11,7 | 22,1 | 14,5 | 14,3 |
| 2. | 5,9 | 11,9 | 22,1 | 14,5 | 14,3 |
| 5. | 6,2 | 12,2 | 22,1 | 14,7 | 14,5 |
| 10. | 6,8 | 12,5 | 22,5 | 15,3 | 14,6 |
| 50. | 7,6 | 13,8 | 23,4 | 15,9 | 15,2 |
| 90. | 9,0 | 14,8 | 24,6 | 17,1 | 16,0 |
| 95. | 9,4 | 15,1 | 24,8 | 17,2 | 16,1 |
| 98. | 9,9 | 15,5 | 25,4 | 17,5 | 16,2 |
| 99. | 10,1 | 15,7 | 25,8 | 17,6 | 16,2 |

Odnos količine oborine toplog i hladnog dijela godine upućuje na maritimni tip oborinskog režima na području Zadra, s većom količinom oborine u hladnom nego u toplom dijelu godine i minimumom ljeti (Slika 3-2a). Stoga i empirijska razdioba percentila sezonskih količina oborine i njihovo odstupanje od medijana pokazuje veće vrijednosti tijekom jesenskih i zimskih mjeseci (Tablica 3.2-2). Prosječno godišnje padne 853,9 mm oborine, a od toga 64 % padne u hladnom dijelu godine (jesen i zima) kad se mogu očekivati najintenzivnije dnevne količine oborine. Maksimum oborine tijekom godine nastupa u studenom (108,3 mm) dok je srpanj mjesec s najmanjom količinom oborine (27,5 mm) (Slika 3.2-2a). U analiziranom 30-godišnjem razdoblju maksimalna mjesečna količina oborine zabilježena je u rujnu 1986. godine (374,5 mm) i bila je tri puta veća od prosječne rujanske količine oborine. Vrijednosti koeficijenta varijacije kreću se od 30 % u proljeće do 50 % ljeti. Na mjesečnoj razini, promjenjivost od godine do godine varira u rasponu od 48 % (studeni) do 99 % (kolovoz) (Slika 3.1-2b). Godišnje količine oborine su stalnije od sezonskih i mjesečnih s promjenljivošću od 19 %. Godišnja količina oborine preko 1056,9 mm može se očekivati prosječno jednom u 10 godina, dok 50-godišnja povratna vrijednost iznosi 1145,7 mm. Proljetna i ljetna količina oborine koja odgovara 10-godišnjoj i većoj povratnoj vrijednosti ($\geq 90.$ percentil) su sličnih vrijednosti. Za cijeli raspon percentila, najveće su jesenske količine oborine. Razlike između jesenskih i zimskih vrijednosti 90. percentila ili viših, kreću se u rasponu od 76,2 do 142,9 mm. U usporedbi s ranijim razdobljem, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010), te razlike su znatno manje. S druge strane, ekstremno sušne godine, odnosno sezone, su one u kojima je zabilježena količina oborine manja od pripadnog 2. percentila. Ta vrijednost je, u godišnjem hod, najmanja u ljetnim mjesecima, i nešto je većeg iznosa nego u ranijem klimatološkom razdoblju, dok je proljetna vrijednost 2. percentila smanjena u novijem razdoblju.



Slika 3.2-2. (a) Godišnji hod srednje količine oborine i (b) standardne devijacije i koeficijent varijacije u razdoblju 1981.-2010. (c) Vremenski niz odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Zadar za razdoblje 1951.-2019.

Tablica 3.2-2. Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimum i minimum i percentili) sezonske i godišnje količine oborine (u mm) na postaji Zadar, za razdoblje 1981.-2010.

| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|-------------------|-------|----------|-------|-------|--------|
| sred | 233,5 | 183,8 | 125,3 | 310,3 | 854,0 |
| stdev | 99 | 52,9 | 64,6 | 117,6 | 160,3 |
| cv | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,40 | 0,19 |
| maks | 455 | 290,7 | 305,2 | 549,7 | 1195,5 |
| min | 50,9 | 42,2 | 38,9 | 66,1 | 587,8 |
| Percentili | | | | | |
| 1. | 55,8 | 56,7 | 42,2 | 85,6 | 594,4 |
| 2. | 60,7 | 71,2 | 45,5 | 105,2 | 601,0 |
| 5. | 70,2 | 104,9 | 51,6 | 143,2 | 641,0 |
| 10. | 88,6 | 121,9 | 54,4 | 165,5 | 679,3 |
| 50. | 224,1 | 186,3 | 110,5 | 309,2 | 815,2 |
| 90. | 328,5 | 239,7 | 214,6 | 471,4 | 1056,9 |
| 95. | 419,3 | 276,0 | 228,1 | 506,2 | 1097,5 |
| 98. | 453,0 | 290,2 | 266,7 | 529,2 | 1145,7 |
| 99. | 454,0 | 290,5 | 285,9 | 539,5 | 1170,6 |

3.2.1.2. Klimatske anomalije i trend

Na **Slici 3.2-1c** prikazane su godišnje anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na referentni srednjak (1981.-2010.) na postaji Zadar te iznos linearnog trenda za razdoblje 1951.-2019. Rezultati pokazuju statistički značajan porast temperature zraka, kako na godišnjoj (0,27 °C/10 god) tako i na sezonskoj razini (od 0,22 do 0,34 °C) s najvećim zagrijavanjem ljeti (**Tablica 3.2-3**). Porast godišnje temperature zraka osobito je izražen od početka 21. stoljeća kad je u svim godinama, osim 2005. i 2010., odstupanje od srednjaka bilo pozitivno. Najtoplija godina na području Zadra bila je 2018. s prosječnom godišnjom dnevnom temperaturom zraka od 16,7 °C.

Tablica 3.2-3. Rezultati trenda srednje sezonske i godišnje temperature zraka (t) i količine oborine (R) na postaji Zadar, razdoblje 1951. – 2019. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

| | Zima | Proljeće | Ljeto | Jesen | Godina |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| t (°C/10 god) | 0,22 | 0,27 | 0,34 | 0,22 | 0,27 |
| R (mm/10 god) | -7,2 | -7,2 | -8,1 | 2,4 | -0,5 |
| R (%/10 god) | -3,1 | -5,8 | -3,5 | 0,8 | -0,1 |

Odstupanje godišnjih količina oborine od srednjaka ne pokazuju tako izražen trend kao u slučaju temperature zraka. Štoviše, trend je vrlo mali i iznosi svega -0,5 mm /10 god (**Tablica 3.2-3** i **Slika 3.2-2c**). Takav trend na godišnjoj razini je posljedica slabog porasta jesenske količine oborine (2,4 mm/10 god), dok je u ostalim sezonama trend količine oborine negativan. Samo je trend smanjenja ljetne količine oborine (-8,1 mm/10 god) statistički značajan. Usporedbom s rezultatima trenda ranijih analiza, za razdoblje 1951.-2009., uočeno je smanjenje proljetne odnosno povećanje jesenske količine oborine u posljednjem desetljeću.

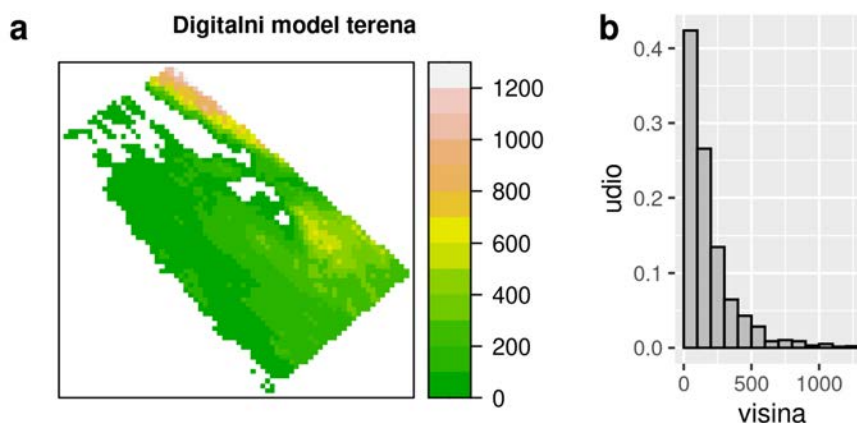
Na komponente vodne ravnoteže najviše utječe kombinacija promatranih meteoroloških parametara. Povećanje temperature zraka uzrokuje pojačano isparavanje koje je dominantno ljeti, kada je sezonska oborina najniža. Manjak oborine ljeti također može uzrokovati nedostatak vode u lokalnim izvorima.

Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (*SPI*) i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (*SPEI*) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (*SPI-12*, *SPEI-12*). U analiziranom 69-godišnjem razdoblju, najveće negativno odstupanje tog indeksa (*SPEI-12* < -2) zabilježeno je 1990. godine, a najvlažnije hidrološke godine (*SPEI-12* > 2) bile su 1959., 1966. i 2014. I vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (*SPI-12*) pokazuju da je najsušnija hidrološka (ali i kalendarska) godina bila 1990. upućujući na to da je uzrok sušnosti uglavnom bio deficit oborine.

3.2.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborina

Klimatske prilike razdoblja 1981.-2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine. Godišnje vrijednosti dane su za kalendarsku i hidrološku godinu (listopad-rujan). Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine dominantno ovisi u geografskim obilježjima, posebno o nadmorskim visinama. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno 0,6 °C/100m. Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska.

3.2.2.1. Digitalni model terena



Slika 3.2-3. (a) Digitalni model terena i (b) histogram visina.

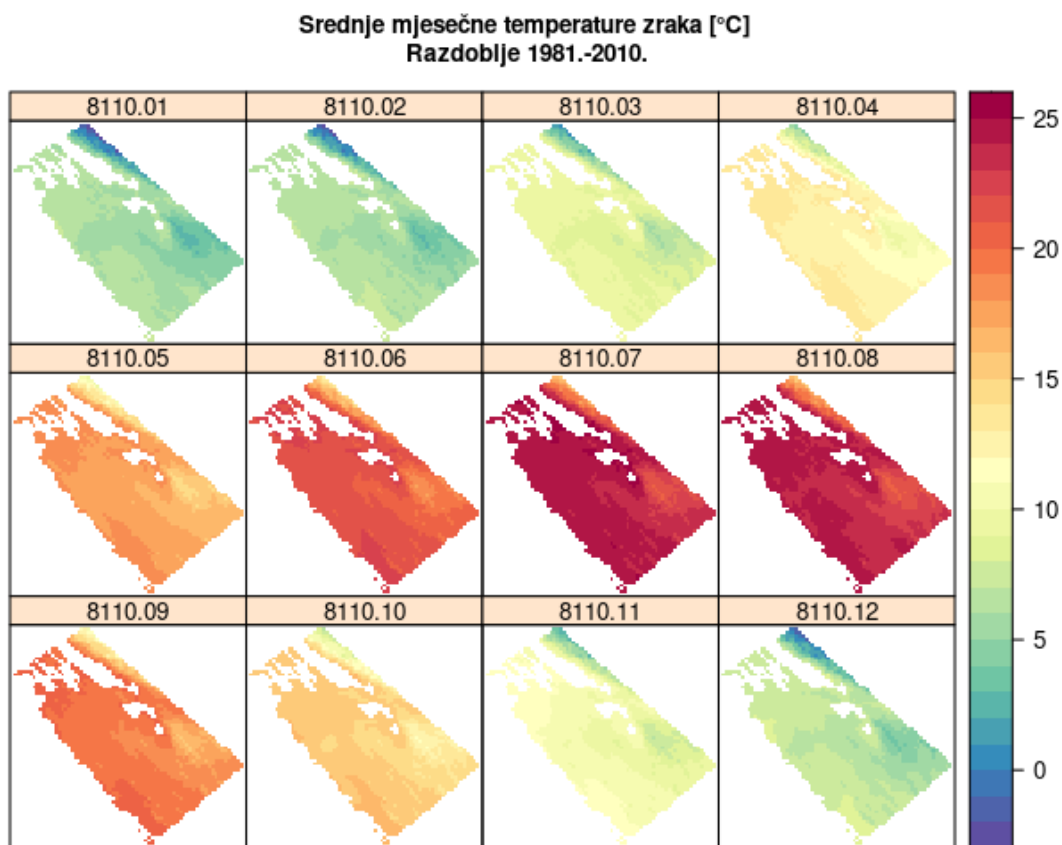
Prema korištenom digitalnom modelu terena rezolucije 1000 m (Slika 3.2-3) površina šireg područja sliva Bokanjac – Poličnik kod Zadra iznosi 1935 km². Najniža područja nalaze se na 27 m n.m., najviša nizinska su do 674 m n.m. na Orljaku, a najviša zahvaćaju padine južnog Velebita do visina 1264 m n.m. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 42 % područja na nadmorskim visinama do 100 m, 27 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Zadar, koja se nalazi na 5 m nadmorske visine, nisu reprezentativni za oko 31 % područja te se ukazuje na vrijednost gridova u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja.

3.2.2.2. Temperatura zraka

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981.-2010. prikazana je na Slici 3.2-4, a detaljnije su u Tablici 3.2-4 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Zadar, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tablici 3.2-4) usporedive su s najvišim vrijednostima iz gridova (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka su u siječnju, a najviše u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je od 6,0 °C na najvišim predjelima do 15,5 °C uz obalu uz srednjak područja od 14,0 °C. Apsolutne razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Zadar ne prelaze 0,2 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

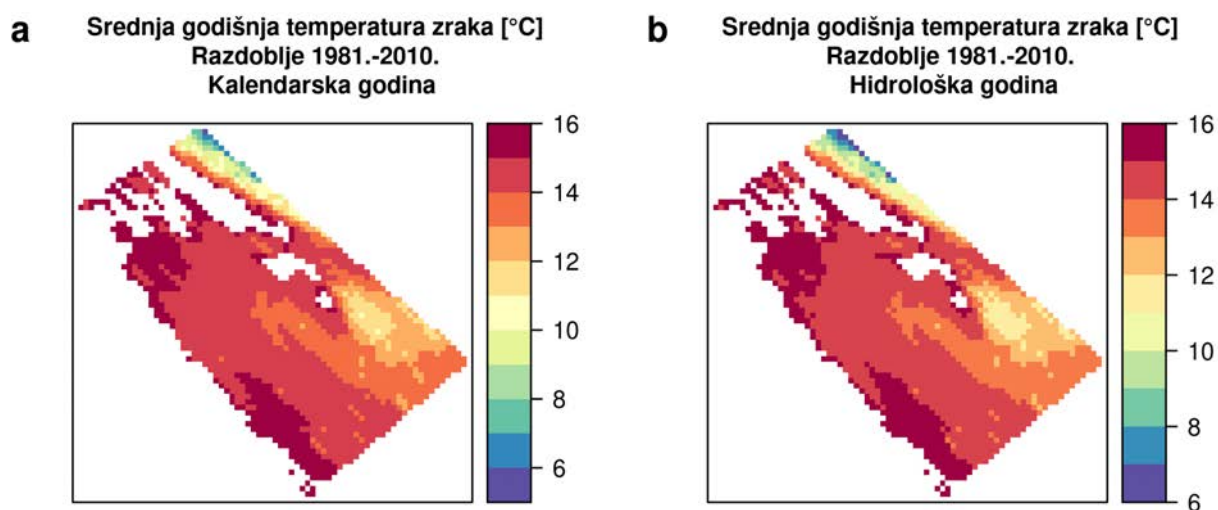
Tablica 3.2-4. Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti temperature zraka iz gridova za čitavo područje. Razdoblje 1981.-2010.

| mjesec | lokacija | lok.grid | lok.bias | gr.min | gr.sred | gr.maks |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 01 | 7,3 | 7,3 | 0,0 | -2,9 | 5,4 | 7,3 |
| 02 | 7,3 | 7,3 | 0,0 | -2,4 | 5,7 | 7,4 |
| 03 | 9,9 | 9,8 | 0,1 | 0,7 | 8,6 | 10,3 |
| 04 | 13,4 | 13,4 | 0,0 | 4,5 | 12,2 | 13,9 |
| 05 | 18,1 | 18,1 | 0,0 | 9,7 | 17,2 | 18,9 |
| 06 | 21,8 | 21,8 | 0,0 | 12,9 | 21,0 | 22,5 |
| 07 | 24,6 | 24,8 | -0,2 | 15,6 | 23,9 | 25,3 |
| 08 | 24,2 | 24,3 | -0,1 | 15,3 | 23,5 | 24,8 |
| 09 | 20,1 | 20,0 | 0,1 | 10,7 | 18,9 | 20,3 |
| 10 | 16,3 | 16,3 | 0,0 | 6,9 | 14,8 | 16,4 |
| 11 | 11,8 | 11,6 | 0,2 | 2,0 | 9,9 | 11,6 |
| 12 | 8,5 | 8,5 | 0,0 | -1,8 | 6,6 | 8,5 |
| GOD | 15,3 | 15,2 | 0,1 | 6,0 | 14,0 | 15,5 |



Slika 3.2-4. Srednje mjesečne temperature zraka za normalu razdoblja 1981.-2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

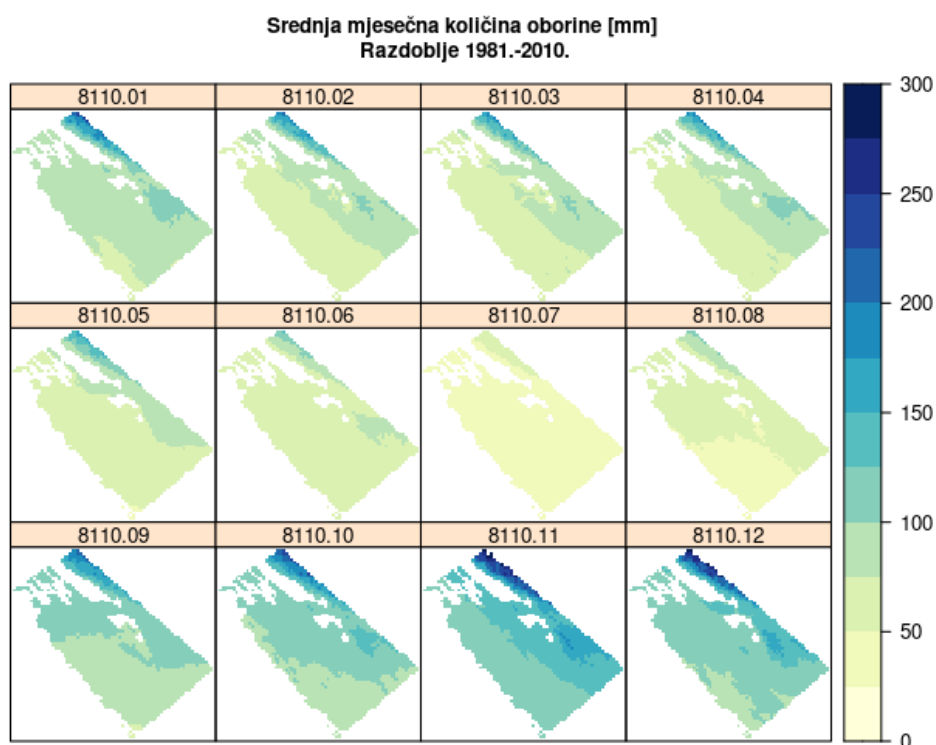
Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981.-2010. (Slika 3.2-5).



Slika 3.2-5. Srednja godišnja temperatura zraka za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981.-2010.

3.2.2.3. Količina oborine

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981.-2010. prikazana je na **Slici 3.2-6**, a detaljnije su u **Tablici 3.2-5** dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Zadar, količina oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u **Tablici 3.2-5**) usporedive su s najnižim vrijednostima iz gridova (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Srednja godišnja količina oborine je od 776 mm na najnižim južnim dijelovima priobalja, raste udaljavanjem od obale na oko 1300 mm na Orljaku da bi na južnom Velebitu godišnje količine oborine premašile 2000 mm. Srednja količina oborine na ovom području je 1018 mm godišnje. Apsolutne razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Zadar ne prelaze 5,8 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim kringingom.

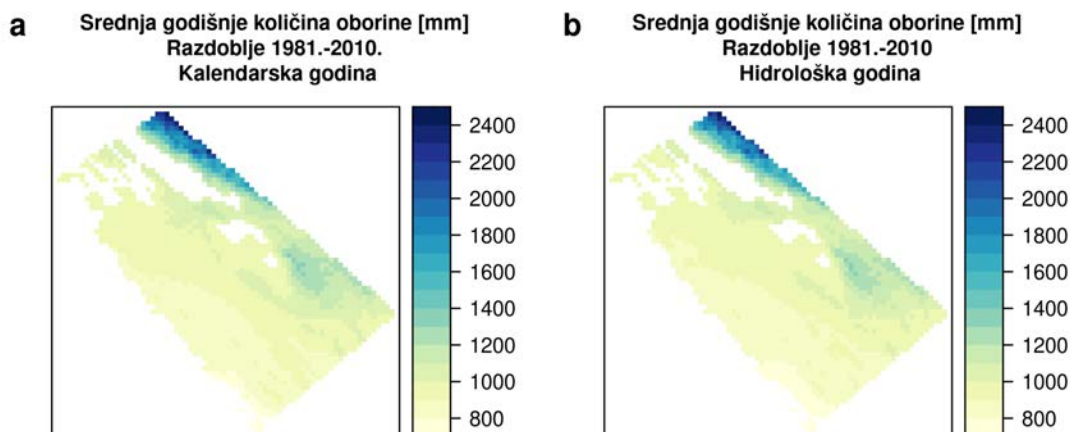


Slika 3.2-6. Srednje mjesečne sume količine oborine za normalu razdoblja 1981.-2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

Tablica 3.2-5. Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti količine oborine iz gridova za čitavo područje. Razdoblje 1981.-2010.

| mjesec | lokacija | lok.grid | lok.bias | gr.min | gr.sred | gr.maks |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 01 | 73,5 | 78,4 | -4,9 | 69,4 | 90,5 | 233,0 |
| 02 | 63,7 | 65,4 | -1,7 | 60,1 | 79,2 | 202,9 |
| 03 | 60,1 | 63,4 | -3,3 | 62,8 | 78,0 | 184,9 |
| 04 | 62,5 | 65,0 | -2,5 | 61,6 | 80,1 | 194,8 |
| 05 | 61,2 | 61,6 | -0,4 | 47,9 | 71,3 | 162,1 |
| 06 | 48,8 | 52,3 | -3,5 | 51,4 | 63,8 | 125,3 |
| 07 | 27,5 | 28,6 | -1,1 | 25,0 | 34,1 | 74,9 |
| 08 | 49,0 | 50,4 | -1,4 | 40,1 | 54,3 | 106,7 |
| 09 | 107,1 | 101,3 | 5,8 | 72,0 | 102,8 | 212,0 |
| 10 | 94,9 | 96,3 | -1,4 | 80,8 | 110,1 | 241,9 |
| 11 | 108,4 | 111,9 | -3,5 | 101,6 | 133,7 | 317,0 |
| 12 | 97,4 | 102,2 | -4,8 | 90,6 | 120,4 | 321,9 |
| GOD | 854,0 | 875,8 | -21,8 | 776,2 | 1017,8 | 2464,3 |

Usporedba srednjih godišnjih količina oborine za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981.-2010. (Slika 3.2-7).

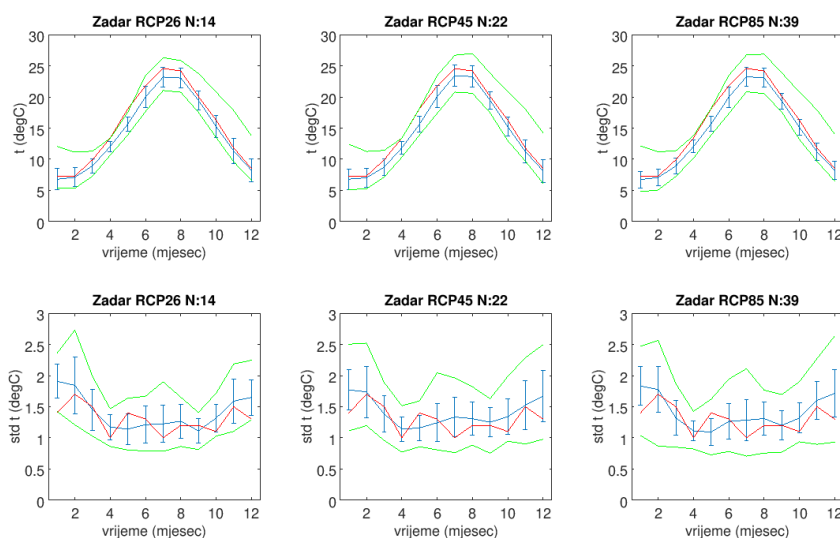


Slika 3.2-7. Srednja godišnja količina oborine za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981.-2010.

3.2.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima

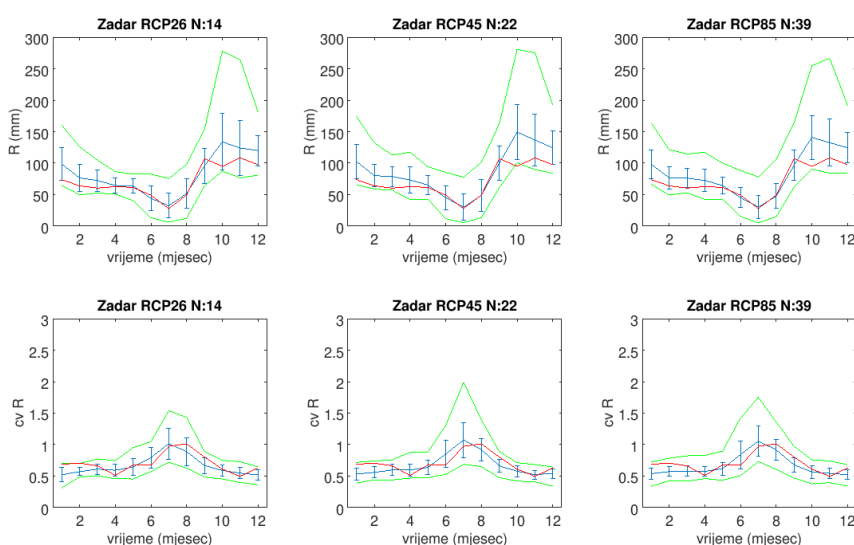
3.2.3.1. Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

Analizirane simulacije povijesne klime upućuju na tendenciju podcjenjivanja srednje temperature zraka u toplom dijelu godine u sva tri podskupa simulacija (Slika 3.2-8, prvi red). Mjerenja su za sva tri podskupa simulacija u travnju i svibnju na gornjoj granici raspona, no i tada ukupni raspon simulacija regionalnih klimatskih modela sadrži vrijednosti koje nalazimo u mjerenjima. Sličan odnos između rezultata na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija i mjerenja nalazimo i u slučaju standardne devijacije temperature zraka, gdje su odstupanja između srednjaka ansambla i mjerenja najizraženija u siječnju (Slika 3.2-8, drugi red). Unatoč odstupanjima pojedinačnih modela od mjerenja, korištenjem ansambla regionalnih klimatskih simulacija dobiveno je realistično simuliranje osnovnih svojstava godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka i pripadne varijabilnosti.

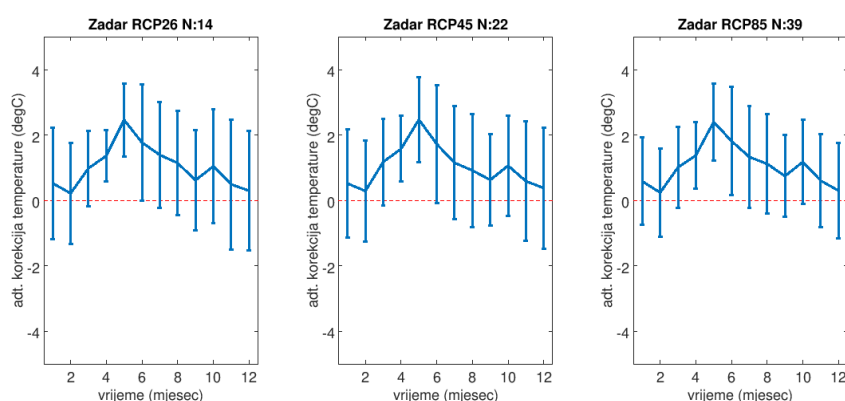


Slika 3.2-8. Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (°C) (prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981.-2010. Izvor: mjerenja DHMZ-a i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Zadar.

Usporedbom ansambla simulacija regionalnih klimatskih modela i mjerenja za srednju mjesečnu količinu oborine možemo zaključiti kako unatoč značajnom rasponu simuliranih vrijednosti (zeleni linija) te umjerenom rasapu istih simulacija (plavi stupići) srednjak ansambla realistično prati opažene srednje vrijednosti (Slika 3.2-9, prvi red). Određeno precjenjivanje mjesečnih količina na razini srednjaka ansambla je prisutno u hladnom dijelu godine, no rasap ansambla uglavnom uspijeva obuhvatiti mjerenja (izuzetak je listopad za RCP4.5 i RCP8.5). U slučaju varijabilnosti mjerene koeficijentom varijacije, nalazimo određene poteškoće u fazi i amplitudi maksimuma (Slika 3.2-9, drugi red). Ansambl modela daje maksimalnu varijabilnost u srpnju, dok se u mjerenjima maksimalna varijabilnost javlja u kolovozu. Unatoč određenim ograničenjima na razini srednjaka ansambla simuliranog koeficijenta varijacije, izmjerene vrijednosti nalazimo unutar rasapa ansambla u većem dijelu godine u sva tri podskupa regionalnih klimatskih simulacija.



Slika 3.2-9. Godišnji hod srednje mjesečne količine oborine (mm; prvi red) i godišnji hod koeficijenta varijacije mjesečne količine oborine (bez dimenzija; drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981.-2010. Izvor: mjerenja DHMZ i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Zadar.

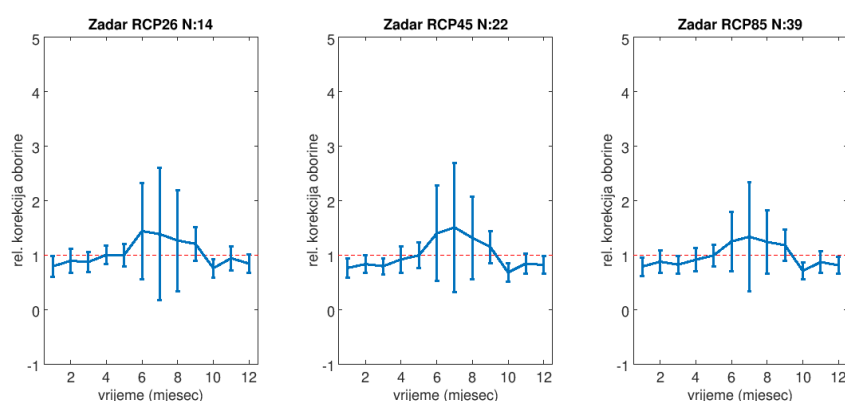


Slika 3.2-10. Godišnji hod aditivne korekcije srednje mjesečne temperature zraka (°C). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Zadar.

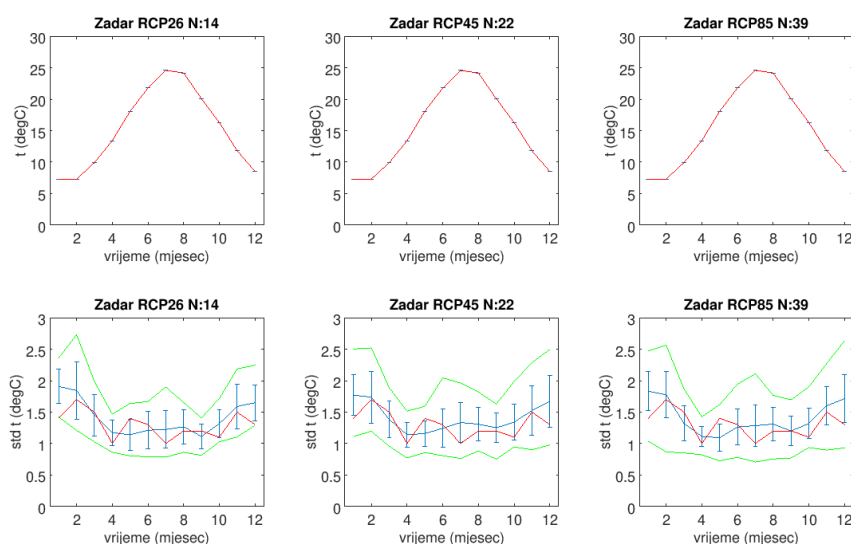
Primjenom statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka u rezultatima simulacija regionalnih klimatskih modela, omogućit će se primjena ovih simulacija kao ulaznih nizova za potrebe hidrološkog modeliranja. Za srednju temperaturu zraka određene su aditivne korekcije za svaki model i svaki mjesec (Slika 3.2-10). U sva tri podskupa simulacija nalazimo usporedive rezultate. Srednjak ansambla aditivnih korekcija je pozitivan tijekom cijele godine s maksimumom u svibnju te minimumom u veljači. Na razini rasapa ansambla standardna devijacija aditivnih

korekcija ima vrijednosti od 1,5 °C do 4 °C. Za većinu mjeseci rasap ansambla uključuje 0 °C, osim za travanj i svibanj u sva tri podskupa simulacija, a za RCP8.5 i u lipnju, gdje je i ranije najčešće detektirano podcjenjivanje simuliranih mjesečnih temperatura zraka u odnosu na mjerenja.

U slučaju srednje mjesečne oborine, statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka dobiva se primjenom relativnih korekcija (Slika 3.2-11). Srednjak i rasap ansambla relativnih korekcija (na osnovi pojedinačnih modelskih realizacija za svaki mjesec posebno) ukazuje na tri tipične situacije: (1) relativne korekcije su manje od 1,0 (bezdimezionalna veličina) za listopad, mjesec za koji je na Slici 3.2-9 utvrđena tendencija precjenjivanja količine oborine, (2) relativne korekcije su izraženo veće od 1,0 za razdoblje od lipnja do rujna, kada se ističe i rasap ansambla relativnih korekcija, (3) za ostale mjesece je srednjak ansambla relativnih korekcija blizak 1,0 uz rasap istog ansambla reda veličine 0,5.



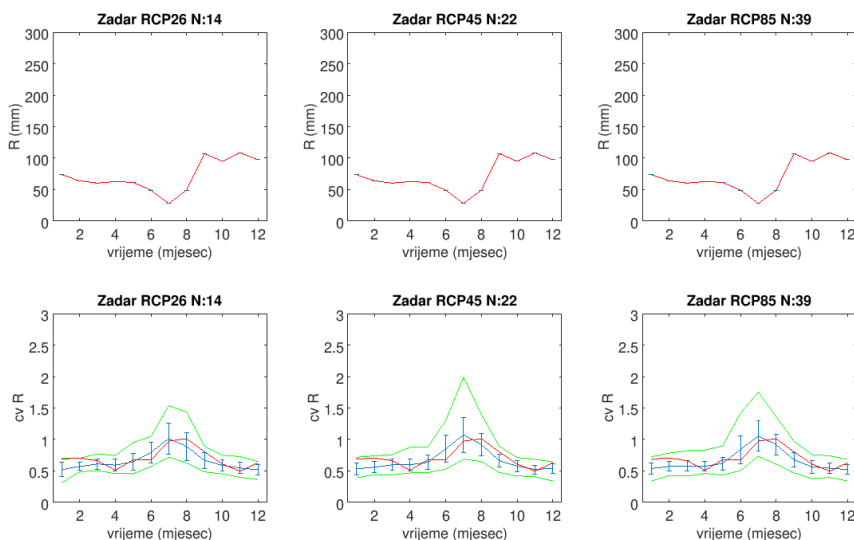
Slika 3.2-11. Godišnji hod relativne korekcije srednje mjesečne količine oborine (bezdimezionalna veličina). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Zadar.



Slika 3.2-12. Isto kao Slika 3.2-8 za statistički obrađene RCM simulacije. Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Zadar.

Kao dodatnu provjeru uspješnosti statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, Slike 3-12 i 3-13 prikazuju srednju temperaturu zraka i količinu oborine te pripadnu varijabilnost izraženu standardnom devijacijom tj. koeficijentom varijacije nakon primjene aditivne tj. relativne korekcije. U slučaju srednje temperature zraka i količine oborine (prvi red Slike 3.2-12 i 3.2-13) po definiciji korištene metode za statističko uklanjanje dobivamo očekivano izjednačavanje simuliranih i opaženih vrijednosti unutar razdoblja od 1981. do 2010. (ne i na razini pojedinih mjeseci unutar istog razdoblja) te je rasap ansambla 0 °C i 0 mm. Primijenjena metoda ne utječe na standardnu

devijaciju simulirane temperature te koeficijent varijacije simulirane količine oborine što je potvrđeno usporedbama [Slike 3.2-8](#) i [Slike 3.2-12](#), tj. [Slika 3.2-9](#) i [Slika 3.2-13](#) (drugi red).

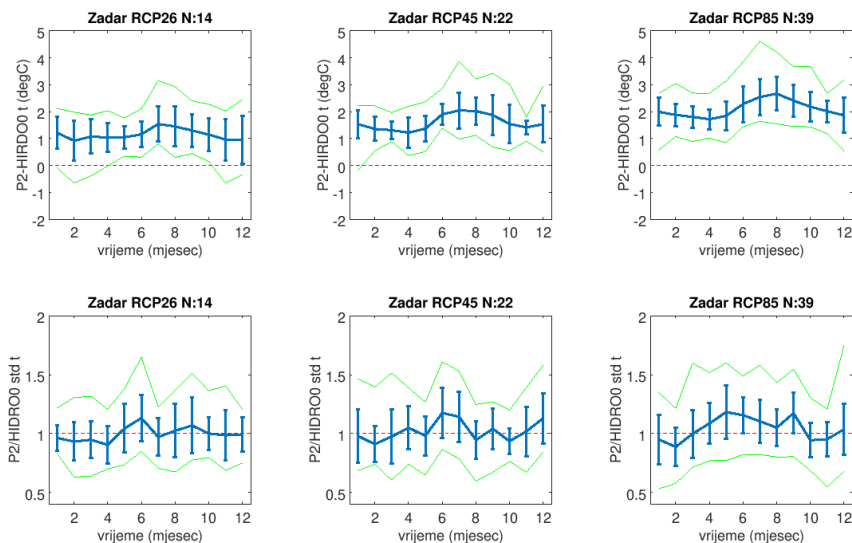


Slika 3-13. Isto kao [Slika 3.2-9](#) za statistički obrađene RCM simulacije. Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Zadar.

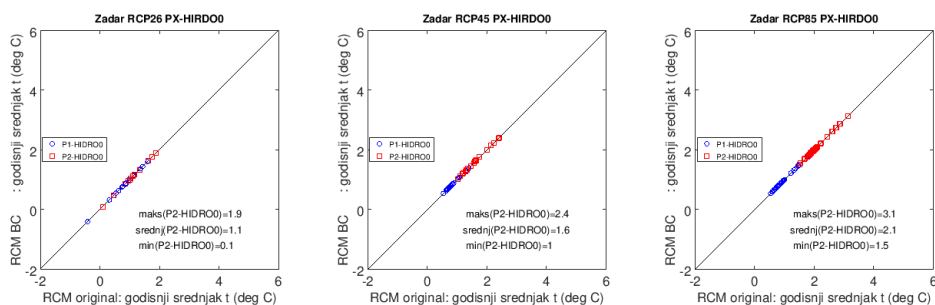
3.2.3.2. Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena

Regionalni klimatski modeli evaluirani u prethodnom poglavlju u odnosu na mjerenja DHMZ-a u razdoblju 1981.-2010. korišteni su za procjenu signala klimatskih promjena na srednjoj mjesečnoj razini. U slučaju temperature zraka, prikazujemo razlike između simulirane srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981.-2010. ([Slika 3.2-14](#), prvi red) te omjere simuliranih standardnih devijacija između ista dva razdoblja ([Slika 3.2-14](#), drugi red). U slučaju srednje temperature, nalazimo relativno jednolik porast temperature tijekom čitave godine (uz izraženije zagrijavanje u ljetnim mjesecima) uz porast nivoa zagrijavanja podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5. U slučaju scenarija RCP2.6, nalazimo mjesec kada raspon (zeleno) ansambla uključuje negativne vrijednosti, i to u hladnom dijelu godine. Ipak, ovo nije situacija u scenariju RCP4.5 (osim za siječanj) i posebno izraženo u scenariju RCP8.5. U slučaju omjera standardne devijacije temperature zraka nalazimo jačanje tendencije porasta u toplom dijelu godine podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5, no rasap i raspon na razini ansambla gotovo uvijek sadržava vrijednost 1,0 (iznimka su lipanj i rujanj u RCP8.5 za rasap ansambla) tako da ovaj tip analize za dva promatrana razdoblja ne ukazuje na jasan signal na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija. Ovo potvrđuje potrebu korištenja ansambla klimatskih modela u istraživanjima klimatskih promjena u područjima utjecaja kako bi se izbjegla ovisnost o jednom scenariju i jednom ili manjem broju modelskih realizacija.

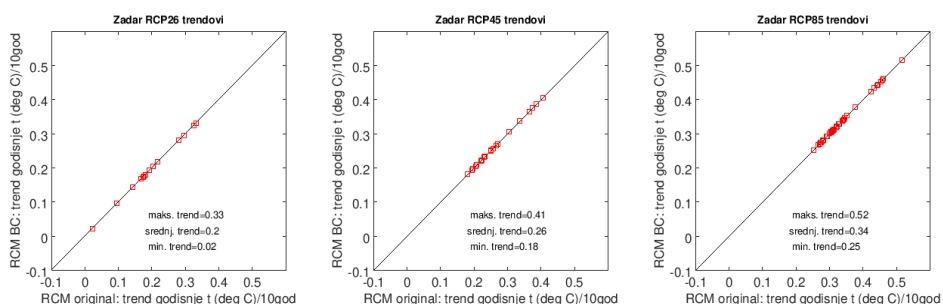
Osim usporedbe na srednjoj mjesečnoj skali, iste simulacije su analizirane i na srednjoj godišnjoj skali ([Slika 3.2-15](#)). [Slika 3.2-15](#) sadrži tri dodatna elementa: (1) usporedbu promjena prije (x-os) i poslije (y-os) statističkog uklanjanja sustavne pogreške, (2) usporedbu referentnog povijesnog razdoblja s razdobljem 2011.-2040. (plavo) i s razdobljem 2041.-2070. (crveno) te (3) prikaz svake pojedinačne modelirane realizacije. Rezultati pokazuju: (1) zagrijavanje na godišnjoj skali nalazimo u svim simulacijama usporedbom 2041.-2070. i 1981.-2010., (2) ovisno o primijenjenom scenariju srednje zagrijavanje raste u RCP2.6 od 1,1 °C (uz raspon 0,1-1,9 °C), u RCP4.5 1,6 °C (uz raspon 1,0-2,4 °C) te u RCP8.5 2,1 °C (uz raspon 1,5-3,1 °C), (3) jačanje signala simuliranjem vremenski udaljenijeg razdoblja izostaje u slučaju RCP2.6 te je umjereno i očito izraženo u RCP4.5 i RCP8.5, (4) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na signal klimatskih promjena, što je očekivano s obzirom na aditivnu korekciju u slučaju temperature zraka.



Slika 3.2-14. Razlika mjesečnih srednjaka temperature zraka između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih standardnih devijacija temperature zraka između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Zadar.



Slika 3.2-15. Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011.-2040. u odnosu na 1981.-2010.; Crveno: 2041.-2070. u odnosu na 1981.-2010. Analizirana veličina: srednja godišnja temperatura zraka (°C). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Zadar.

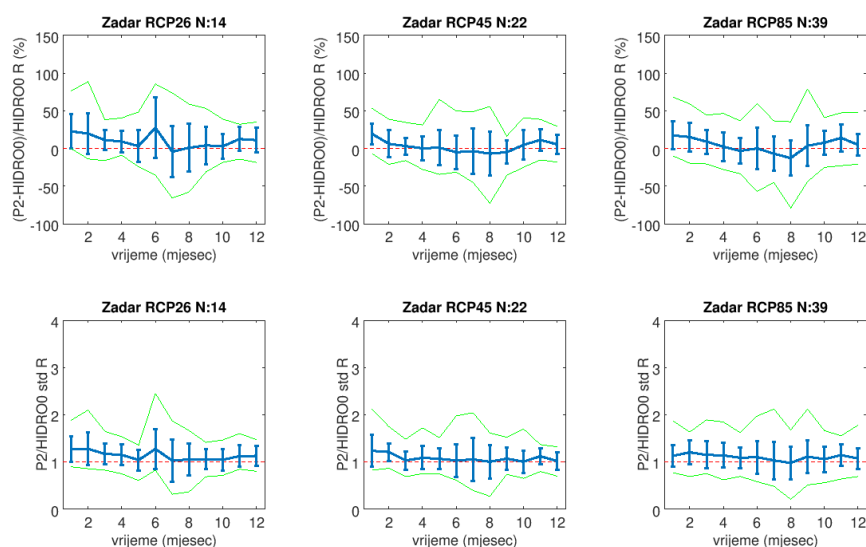


Slika 3.2-16. Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971.-2070. Analizirana veličina: trend godišnje temperature zraka (°C/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Zadar.

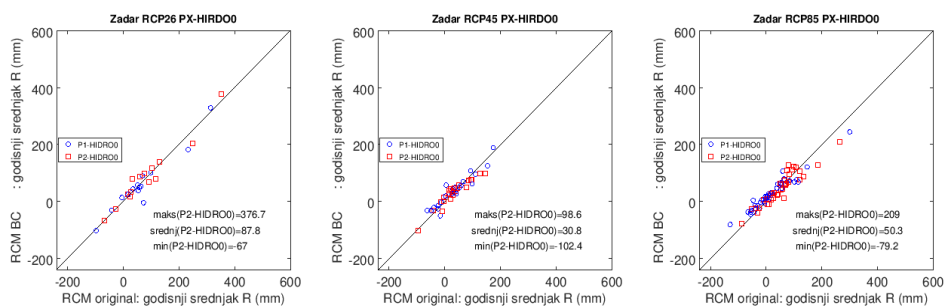
Osim promjena između dva tridesetogodišnja razdoblja, utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogreška analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.2-16). Rezultati uključuju sljedeće: (1) zagrijavanje nalazimo u svim simulacijama, neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u RCP2.6 od 0,20 °C/10 god. (0,02-0,33 °C/10 god.),

u RCP4.5 0,26 °C/10 god. (0,18-0,41 °C/10 god.) te u RCP8.5 0,34 °C/10 god. (0,25-0,52 °C/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na trend godišnjih temperatura zraka.

U slučaju količine oborine, prikazujemo relativne razlike između simulirane srednje mjesečne količine oborine u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 3.2-17, prvi red) te omjere simuliranih koeficijenata varijacije između ista dva razdoblja (Slika 3.2-17, drugi red). Rezultate za sva tri podskupa regionalnih klimatskih modela možemo sažeti: (1) srednjak ansambla pokazuje sklonost negativnim promjenama u toplom dijelu godine te povećanju u hladnom dijelu godine u scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, dok se u scenariju RCP2.6 javljaju pozitivne relativne promjene u svim mjesecima osim za srpanj, (2) unatoč promjenama simuliranim na razini srednjaka ansambla, rasap i raspon ansambla gotovo uvijek su isti, tj. 0 % (jedina iznimka je rasap ansambla u siječnju u slučaju scenarija RCP4.5), (3) omjer budućih i povijesnih koeficijenata varijacije ne pokazuje tendenciju značajnih promjena.



Slika 3.2-17. Relativna razlika mjesečnih količina oborine između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih koeficijenata varijacije/standardne devijacije količine oborine između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Zadar.

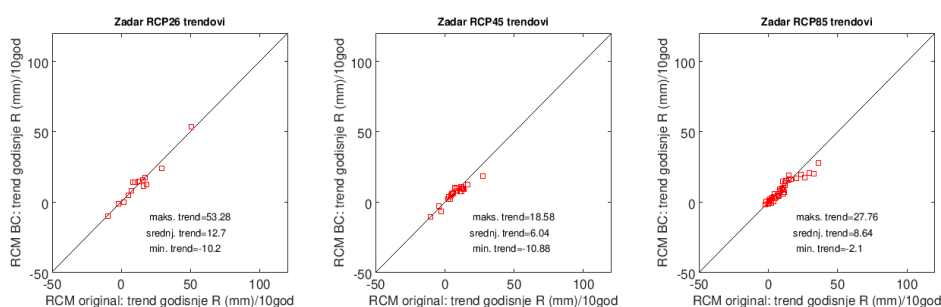


Slika 3.2-18. Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011.-2040. u odnosu na 1981.-2010.; Crveno: 2041.-2070. u odnosu na 1981.-2010. Analizirana veličina: srednja godišnja količina oborine (mm). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Zadar.

Analiza simulacija na srednjoj godišnjoj skali ukazuje na tendenciju blagog povećanja količine oborine u sva tri scenarija (Slika 3.2-18). Rezultati uključuju sljedeće: (1) ovisno o primijenjenom scenariju srednje povećanje oborine raste u RCP2.6 87,8 mm (uz raspon od -67,0 do 376,7 mm), u RCP4.5 30,8 mm (uz raspon od -102,4 do 98,6 mm) te u RCP8.5 50,3 mm (uz raspon od -79,2 do 209,0 mm), (2) ne postoji izražena razlika između signala relativnih promjena u dva buduća razdoblja u odnosu na 1981.-2010., (3) primjena statističkog uklanjanja

sustavnih pogrešaka pokazuje veću osjetljivost nego u slučaju srednjih godišnjih temperatura no ograničeno utječe na signal klimatskih promjena.

Utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogreška analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.2-19). Rezultati uključuju sljedeće: (1) tendencija blagog porasta srednje godišnje količine oborine neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u statistički obrađenim simulacijama u RCP2.6 za iznos 12,70 mm/10 god. (raspon od -10,20 do 53,28 mm/10 god.), u RCP4.5 za iznos 6,04 mm/10 god. (raspon od -10,88 do 18,58 mm/10 god.) te u RCP8.5 za iznos 8,64 mm/10 god. (raspon od -2,10 do 27,76 mm/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogreška utječe ograničeno na magnitudu trenda godišnjih količina oborine.



Slika 3.2-19. Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971.-2070. Analizirana veličina: trend godišnje količina oborine (mm/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Zadar.

3.3. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu

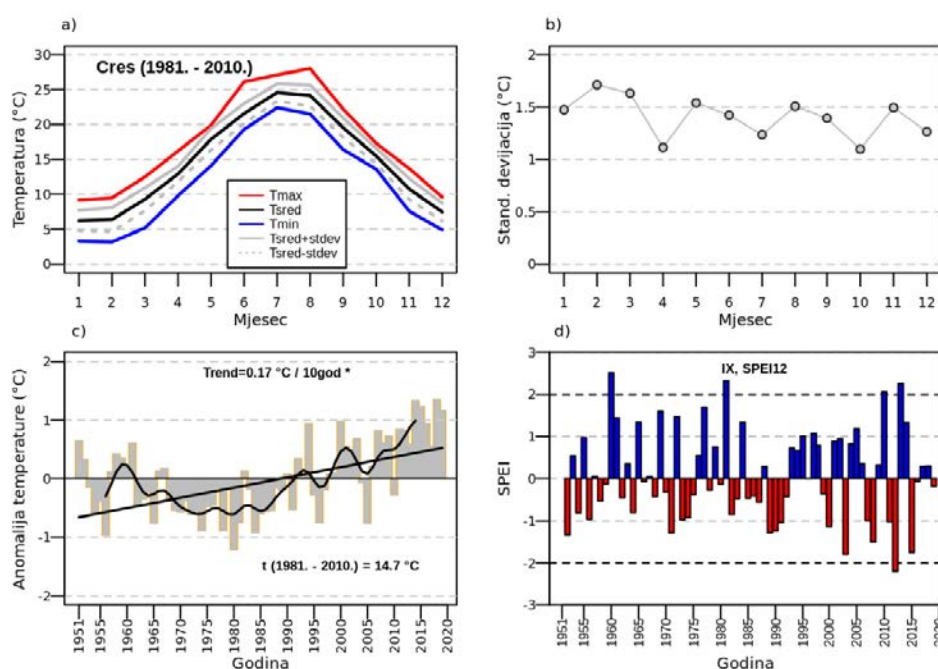
Klima pilot područja Vransko jezero na otoku Cresu analizirana je prema podacima iz razdoblja 1981.-2010. meteorološke postaje Cres ($h = 5 \text{ m}$, $\phi = 44^{\circ}57' \text{ N}$, $\lambda = 14^{\circ}25' \text{ E}$) najbliže predmetnom pilot području (Pog. 3.3.1). Klimatske prilike detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine (Pog. 3.3.2). Buduća klima i klimatske promjene prikazani su rezultatima klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu. Korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz inicijative EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014, Kotlarski et al., 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017) (Pog. 3.3.3).

3.3.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Cres

U ovom poglavlju prikazane su opće klimatske karakteristike na području Vranskog jezera na otoku Cresu te anomalije i opažene promjene temperature zraka i količine oborine. Godišnji hodovi pojedinog klimatološkog elementa i njihova međugodišnja varijabilnost analizirani su prema podacima meteorološke postaje Cres za referentno klimatološko razdoblje 1981.-2010. (potpoglavljje 3.3.1.1), dok je analiza trenda te ocjena sušnosti/kišnosti za pojedinu godinu provedena za najdulje raspoloživo razdoblje podataka, 1951.-2019. (potpoglavljje 3.3.1.2). Rezultati su uspoređeni s ranijom klimatološkom analizom na području Vranskog jezera koja je provedena za potrebe projekta CC-Waters (Gajić-Čapka et al., 2010), a za koju je korišteno referentno klimatološko razdoblje 1961.-1990.

3.3.1.1. Opće klimatske karakteristike

Otok Cres nalazi se veći dio godine u cirkulacijskom području umjerenih širina s čestim i intenzivnim promjenama vremena. Glavni modifikator klime tog područja je more, a uz neposredan utjecaj ciklogenetičkog djelovanja južne strane Alpa u kombinaciji s djelovanjem Sredozemlja osobito s područja Đenovskog zaljeva (poznata đenovska ciklona) i sjevernog Jadrana, važan modifikator klime je i jako razvijena orografija Dinarida. Ljeti je otok Cres pod utjecajem azorske anticiklone koja „sprječava“ dolazak atmosferskih poremećaja i često dolazi pod utjecaj suptropskoga pojasa koji se zbog prividnog gibanja Sunca ljeti prema sjeveru (na sjevernoj hemisferi) također premješta prema sjeveru (Zaninović et al., 2008). Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Kottek et al., 2006; Penzar & Makjanić, 1978), koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, otok Cres ima umjereno toplu kišnu klimu (C) kojoj odgovara srednja temperatura najhladnijeg mjeseca viša od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ i niža od $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najsuši mjesec je u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) s manje od 40 mm oborine koja je bar tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka s). Ljeta su vruća sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (oznaka a). Konačna Köppenova oznaka za klimu na području Cresa je Csa.



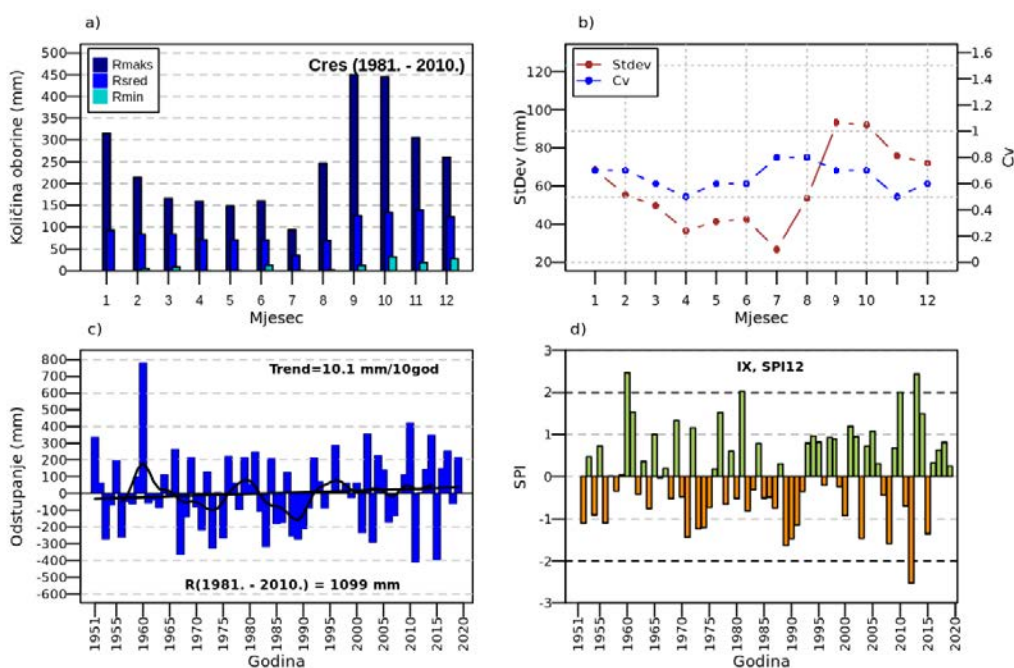
Slika 3.3-1. (a) Godišnji hod srednje, srednje minimalne i maksimalne mjesečne temperature zraka i (b) standardne devijacije i koeficijenta varijacije u razdoblju 1981.-2010. (c) Vremenski niz odstupanja srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) na 12-mjesečnoj skali za rujna (hidrološka godina), na postaji Cres za razdoblje 1951.-2019.

Srednji godišnji hod **temperature zraka** na postaji Cres ima jasan valni oblik s maksimumom u srpnju ($24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), te minimumom u siječnju ($6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Slika 3.3-1a). Utjecaj mora na godišnji hod temperature zraka očituje se u sporom jesenjem ohlađivanju i još sporijem proljetnom grijanju, tako da je proljeće hladnije od jeseni (Tablica 3.3-1). Vrijednosti standardnih devijacija, koje predstavljaju prosječno odstupanje od klimatskog srednjaka, upućuju na podjednaku stabilnost temperature zraka tijekom godine, no ipak nešto manju u veljači i ožujku ($1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), a veću u travnju i listopadu ($1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Slika 3.3-1b). Srednja godišnja temperatura zraka za postaju Cres iznosi $14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, a vrijednosti srednje godišnje temperature u 30-godišnjem razdoblju bile su od $13,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. U Tablici 3.3-1 navedene su i vrijednosti percentila koji određuju (empirijsku) vjerojatnost prekoračenja ekstremnih vrijednosti temperature zraka. Razlika između 2. i 98. percentila veća je u toplom dijelu godine nego u hladnom što je suprotno od rezultata dobivenih za ranije klimatološko razdoblje, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010). Naime, u odnosu na ranije razdoblje, vrijednosti ovih razlika su se u novijem razdoblju smanjile zimi i u jesen, a

povećale u proljeće i ljeto. Pogledamo li odstupanja između medijana (50. percentila) i 2., odnosno 98. percentila, koje bi u slučaju normalne i stacionarne razdiobe trebale biti jednake, u proljeće je uočeno veće odstupanje 98. percentila od medijana nego što je to slučaj za lijevi dio razdiobe, upućujući na povećanje asimetrije proljetne razdiobe srednje dnevne temperature zraka.

Tablica 3.3-1. Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka (u °C) na postaji Cres, za razdoblje 1981.-2010.

| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|--------------|------|----------|-------|-------|--------|
| sred | 6,7 | 13,4 | 23,4 | 15,3 | 14,7 |
| stdev | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,5 |
| maks | 9,2 | 15,8 | 26,9 | 16,8 | 15,7 |
| min | 5,0 | 11,0 | 21,4 | 13,7 | 13,8 |
| Percentili | | | | | |
| 1. | 5,1 | 11,2 | 21,5 | 13,8 | 13,8 |
| 2. | 5,2 | 11,3 | 21,6 | 13,9 | 13,9 |
| 5. | 5,4 | 11,9 | 21,9 | 14,1 | 13,9 |
| 10. | 5,6 | 12,5 | 22,4 | 14,3 | 13,9 |
| 50. | 6,3 | 13,4 | 23,4 | 15,1 | 14,7 |
| 90. | 8,1 | 14,6 | 24,3 | 16,6 | 15,4 |
| 95. | 8,5 | 14,9 | 24,6 | 16,7 | 15,6 |
| 98. | 8,9 | 15,3 | 25,7 | 16,7 | 15,7 |
| 99. | 9,1 | 15,6 | 26,3 | 16,8 | 15,7 |



Slika 3.3-2. (a) Godišnji hod srednje količine oborine i (b) standardne devijacije u razdoblju 1981.-2010. (c) Vremenski niz odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Cres za razdoblje 1951.-2019.

Odnos količine **oborine** toplog i hladnog dijela godine ukazuje na maritimni tip oborinskog režima na području Cresa, s većom količinom oborine u hladnom nego u toplom dijelu godine i minimumom ljeti (**Slika 3.3-2a**). Stoga i empirijska razdioba percentila sezonskih količina oborine i njihovo odstupanje od medijana pokazuju veće vrijednosti tijekom jesenskih i zimskih mjeseci (**Tablica 3.3-2**). Prosječno godišnje padne 1099,5 mm oborine, a od toga oko 60 % padne u hladnom dijelu godine (jesen i zima) kada se mogu očekivati najintenzivnije dnevne količine oborine. Maksimum oborine tijekom godine nastupa u studenom (138,8 mm) dok je srpanj mjesec s najmanjom količinom oborine (35,2 mm) (**Slika 3.3-2a**). U analiziranom 30-godišnjem razdoblju maksimalna mjesečna količina oborine zabilježena je u rujnu 1998. godine (450,4 mm) i bila je gotovo četiri puta veća od prosječne rujanske

količine oborine. Vrijednosti koeficijenta varijacije upućuju na najmanju međugodišnju promjenljivost oborine u proljeće (20 %), dok se u ostalim sezonama kreće od 40 % (jesen) do 50 % (zima i ljeto). Na mjesečnoj razini, promjenljivost od godine do godine varira u rasponu od 51 % (travanj) do 76 % (kolovoz) (Slika 3.3-2b). Godišnje količine oborine su stalnije od sezonskih i mjesečnih s promjenljivošću od 18 %. Godišnja količina oborine preko 1353,3 mm može se očekivati prosječno jednom u 10 godina, dok 50-godišnja povratna vrijednost iznosi 1483,1 mm. Proljetna i ljetna količina oborine koja odgovara 10-godišnjoj i većoj povratnoj vrijednosti (≥ 90 . percentil) su sličnih vrijednosti (260,5 mm i 292,8 mm). Za cijeli raspon percentila, najveće su jesenske količine oborine. Razlike između jesenskih i zimskih vrijednosti, za povratna razdoblja dulja od 10 godina, kreću se u rasponu od 140,3 do 198,5 mm. U usporedbi s ranijim razdobljem, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010), te razlike su u novijem razdoblju znatno veće, što ukazuje na jesensko povećanje oborine. S druge strane, ekstremno sušne godine odnosno sezone su one u kojima je zabilježena količina oborine manja od pripadnog 2. percentila. Te vrijednosti su, u godišnjem hodu, najmanje u ljetnim mjesecima, i smanjene su u usporedbi s ranijim klimatološkim razdobljem upućujući na osušenje u ljetnim mjesecima na području Cresa.

Tablica 3.3-2. Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimum i minimum i percentili razdiobe) sezonske i godišnje količine oborine (u mm) na postaji Cres, za razdoblje 1981.-2010.

| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|--------------|-------|----------|-------|-------|--------|
| sred | 298,4 | 224,8 | 174,6 | 399,7 | 1099,5 |
| stdev | 137,2 | 55,5 | 84,8 | 170,5 | 202,6 |
| cv | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,18 |
| maks | 718,1 | 333,4 | 454,1 | 778,0 | 1520,4 |
| min | 73,5 | 118,9 | 22,9 | 124,8 | 778,4 |
| Percentili | | | | | |
| 1. | 83,1 | 119,2 | 39,1 | 134,4 | 786,3 |
| 2. | 92,8 | 119,5 | 55,4 | 144,1 | 794,2 |
| 5. | 109,4 | 129,5 | 79,2 | 172,4 | 814,2 |
| 10. | 147,2 | 152,6 | 89,4 | 209,6 | 840,8 |
| 50. | 276,5 | 227,9 | 156,9 | 355,9 | 1107,4 |
| 90. | 439,9 | 292,8 | 260,5 | 638,4 | 1353,3 |
| 95. | 545,6 | 317,5 | 310,5 | 712,5 | 1425,8 |
| 98. | 619,8 | 326,8 | 379 | 760,1 | 1483,1 |
| 99. | 668,9 | 330,1 | 416,6 | 769,1 | 1501,8 |

3.3.1.2. Klimatske anomalije i trend

Na Slici 3.3-1c prikazane su godišnje anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na referentni srednjak (1981.-2010.) na postaji Cres te iznos linearnog trenda za razdoblje 1951.-2019. Najveći doprinos godišnjem porastu temperature zraka dolazi od statistički značajnog porasta srednje dnevne temperature zraka u toplom dijelu godine kad je zabilježen statistički značajan trend u iznosu od 0,26 °C/10 god ljeti odnosno 0,19 °C/10 god u proljeće (Tablica 3.3-3). Zatopljenje je uočeno i u hladnom dijelu godine, ali u iznosu manjem od 0,1 °C/10 god. Porast godišnje temperature zraka osobito je izražen od početka 21. stoljeća kad je u čak 16 godina odstupanje od srednjaka bilo pozitivno. Najtoplije godine na području Cresa bile su 2014. i 2018.

Odstupanje godišnjih količina oborine od srednjaka ne ukazuju na tako izražen trend kao u slučaju temperature zraka. Uočen je blagi porast godišnje količine oborine (10,1 mm/10 god) koji nije statistički značajan (Tablica 3.3-3 i Slika 3.3-2c). Taj porast je posljedica porasta jesenske količine oborine, dok je u ostalim sezonama trend količine oborine negativan, i to nešto veći ljeti (-9,1 mm/10 god) nego u proljeće i zimi (-3,5 mm/10 god). Jesenski porast količine oborine odražava se u povećanim vrijednostima percentilnih vrijednosti većih od medijana (50. percentil) u odnosu na ranije klimatološko razdoblje 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010).

Tablica 3.3-3. Rezultati trenda srednje sezonske i godišnje temperature zraka (*t*) i količine oborine (*R*) na postaji Cres, razdoblje 1951. – 2019. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|----------------------|------|-------------|-------------|-------|-------------|
| <i>t</i> (°C/10 god) | 0,07 | 0,19 | 0,26 | 0,09 | 0,17 |
| <i>R</i> (mm/10 god) | -3,5 | -3,5 | -9,1 | 13,1 | 10,1 |
| <i>R</i> (%/10 god) | -1,2 | -2,0 | -3,0 | 3,3 | 0,9 |

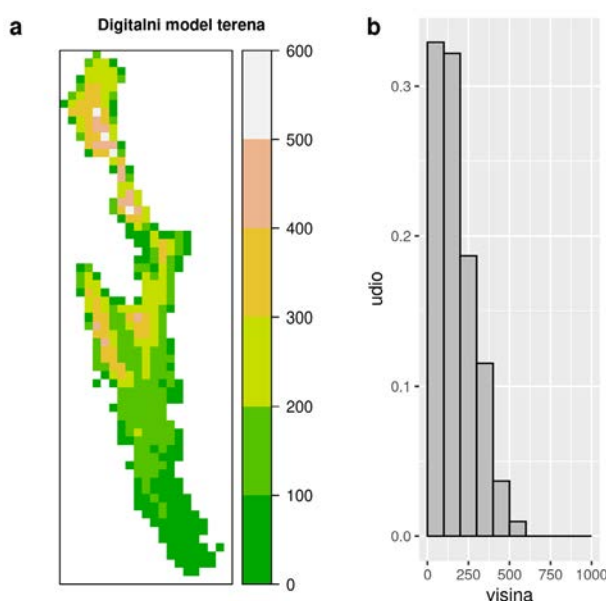
Na komponente vodne ravnoteže najviše utječe kombinacija promatranih meteoroloških parametara. Povećanje temperature zraka na području Cresa uzrokuje pojačano isparavanje odnosno smanjenje razine Vranskog jezera. Dominantno je ljeti kad je sezonska oborina najniža, a postoji i tendencija smanjenja ljetne količine oborine. Manjak oborine ljeti također može uzrokovati nedostatak vode u lokalnim izvorima.

Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (*SPI*) i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (*SPEI*) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (*SPI-12*, *SPEI-12*). U analiziranom 69-godišnjem razdoblju, najveće negativno odstupanje indeksa *SPEI* ($SPEI-12 < -2$) zabilježeno je 2011. godine, a najvlažnije hidrološke godine ($SPEI-12 > 2$) bile su 1959., 1980. i 2013. I vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (*SPI-12*) pokazuju da je najsušnija hidrološka (ali i kalendarska) godina bila 2011. upućujući na to da je uzrok sušnosti uglavnom bio deficit oborine.

3.3.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine

Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine dominantno ovisi o geografskim obilježjima, posebno o nadmorskim visinama. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno 0,6 °C/100 m. Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska.

3.3.2.1. Digitalni model terena

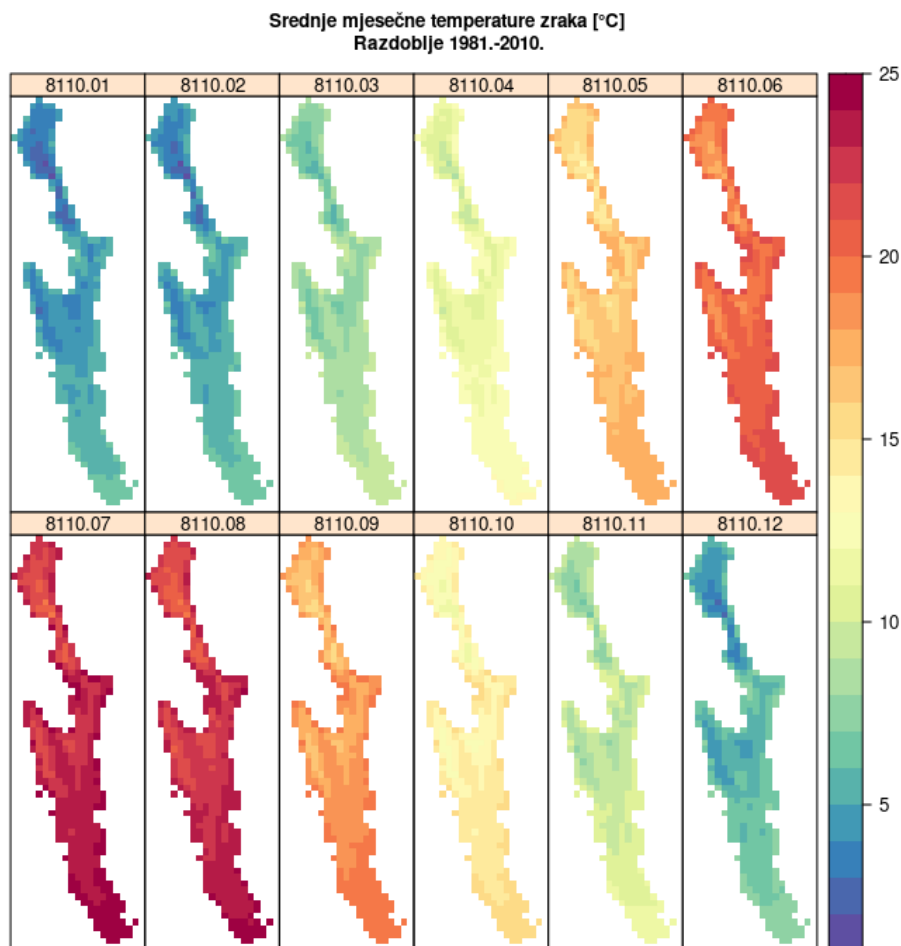
**Slika 3.3-3.** (a) Digitalni model terena i (b) histogram visina.

Prema korištenom digitalnom modelu terena rezolucije 1000 m površina otoka Cresa iznosi 407 km². Najniža područja otoka Cresa nalaze se na 17 m n.m., a najviša su na 589 m n.m. Južni dio otoka i obala su niži dok su u centralnom i sjevernom dijelu otoka viši predjeli (Slika 3.3-3a). Histogram udjela nadmorskih visina prema

razredima visina od 100 m (Slika 3.3-3b) pokazuje da je 33 % područja otoka Cresa na nadmorskim visinama do 100 m, 32 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Cres, koja se nalazi na 5 m nadmorske visine, nisu reprezentativni za oko 35 % površine otoka te se ukazuje na vrijednost gridova u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja. Stoga su klimatske prilike razdoblja 1981.-2010. detaljnije prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine. Godišnje vrijednosti dane su za kalendarsku i hidrološku godinu (listopad-rujan).

3.3.2.2. Temperatura zraka

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981.-2010. prikazana je na Slici 3.3-4, a detaljnije su u Tablici 3.3-4 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Cres, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tablici 3.3-4) usporedive su s najvišim vrijednostima iz gridova (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka su u siječnju, a najviše u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je od 10,3 °C na najvišim predjelima do 14,9 °C uz obalu i na južnom nizinskom dijelu otoka uz srednjak na otoku od 13,4 °C. Razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Cres ne prelaze 0,2 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

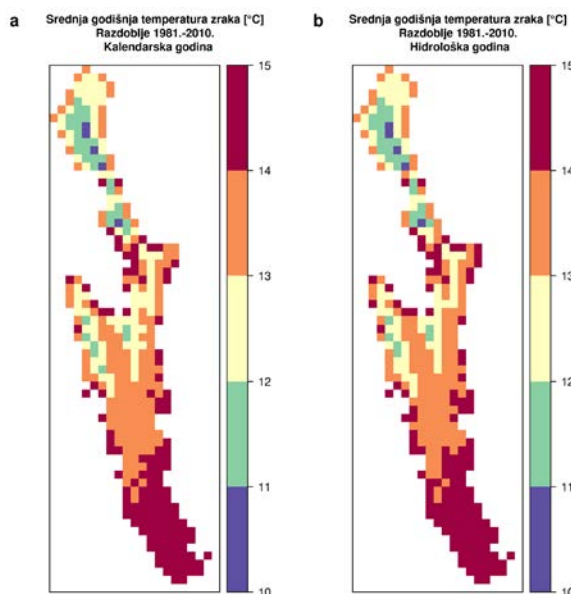


Slika 3.3-4. Srednje mjesečne temperature zraka za normalu razdoblja 1981.-2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

Tablica 3.3-4. Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti temperature zraka iz gridova za otok Cres, za razdoblje 1981.-2010.

| mjesec | lokacija | lok.grid | lok.bias | gr.min | gr.sred | gr.maks |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 01 | 6,2 | 6,1 | 0,1 | 1,5 | 4,8 | 6,3 |
| 02 | 6,4 | 6,3 | 0,1 | 1,9 | 5,1 | 6,5 |
| 03 | 9,3 | 9,2 | 0,1 | 5,1 | 8,2 | 9,5 |
| 04 | 12,9 | 12,8 | 0,1 | 8,8 | 11,8 | 13,0 |
| 05 | 17,9 | 17,7 | 0,2 | 13,7 | 16,7 | 17,9 |
| 06 | 21,6 | 21,4 | 0,2 | 17,1 | 20,3 | 21,6 |
| 07 | 24,6 | 24,4 | 0,2 | 19,9 | 23,2 | 24,5 |
| 08 | 24,1 | 23,9 | 0,2 | 19,5 | 22,7 | 24,2 |
| 09 | 19,5 | 19,4 | 0,1 | 15,0 | 18,3 | 19,9 |
| 10 | 15,5 | 15,4 | 0,1 | 11,0 | 14,1 | 15,4 |
| 11 | 10,8 | 10,6 | 0,2 | 6,4 | 9,6 | 11,5 |
| 12 | 7,5 | 7,3 | 0,2 | 2,6 | 6,0 | 7,5 |
| GOD | 14,7 | 14,5 | 0,2 | 10,3 | 13,4 | 14,9 |

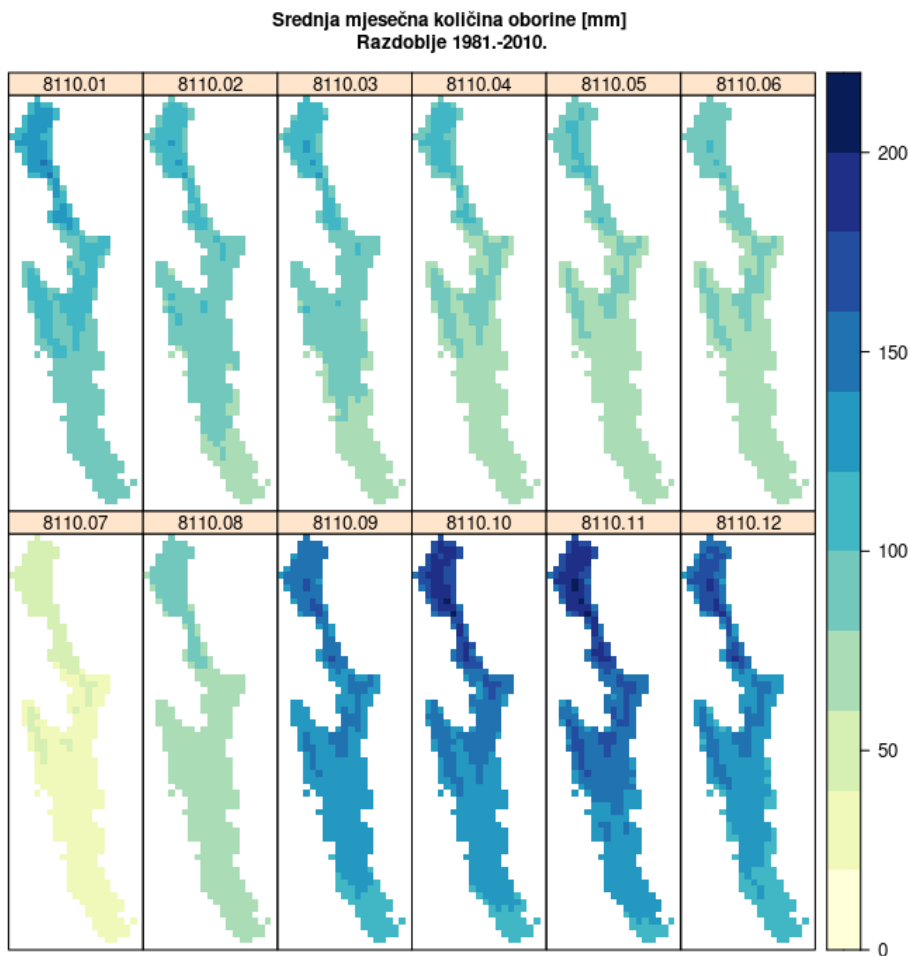
Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981.-2010. (Slika 3.3-5).



Slika 3.3-5. Srednja godišnja temperatura zraka za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981.-2010.

3.3.2.3. Količina oborine

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981.-2010. prikazana je na Slici 3.3-6, a detaljnije su u Tablici 3.3-5 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Cres, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tablici 3.3-5) usporedive su s najnižim vrijednostima iz gridova (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Srednja godišnja količina oborine kreće se od 980 mm na najnižim predjelima uz obalu i na južnom nizinskom dijelu otoka do 1666 mm na vršnim sjevernijim dijelovima otoka uz srednjak na otoku od 1193 mm. Apsolutne razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Cres ne prelaze 4,1 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim kriginom.

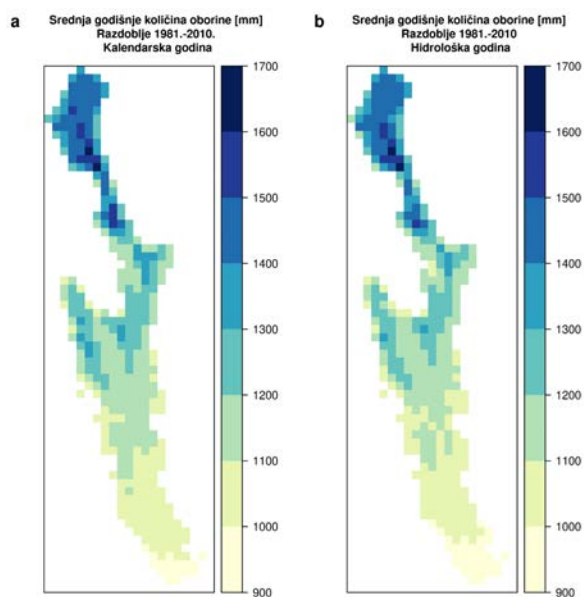


Slika 3.3-6. Srednje mjesečne sume količine oborine za normalu razdoblja 1981.-2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

Tablica 3.3-5. Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti količine oborine iz gridova za otok Cres, za razdoblje 1981.-2010.

| mjesec | lokacija | lok.grid | lok.bias | gr.min | gr.sred | gr.maks |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 01 | 92,7 | 93,8 | -1,1 | 83,4 | 101,8 | 147,5 |
| 02 | 83,8 | 82,1 | 1,7 | 73,7 | 89,6 | 127,1 |
| 03 | 83,7 | 82,5 | 1,2 | 69,8 | 88,3 | 128,4 |
| 04 | 70,7 | 73,6 | -2,9 | 67,4 | 81,1 | 118,6 |
| 05 | 70,5 | 73,9 | -3,4 | 63,6 | 78,1 | 110,7 |
| 06 | 70,4 | 74,1 | -3,7 | 65,6 | 78,5 | 105,3 |
| 07 | 35,2 | 36,7 | -1,5 | 30,4 | 38,4 | 54,8 |
| 08 | 69,1 | 70,5 | -1,4 | 60,2 | 73,0 | 93,7 |
| 09 | 127,0 | 130,0 | -3,0 | 109,9 | 133,8 | 168,7 |
| 10 | 134,0 | 138,1 | -4,1 | 116,3 | 143,7 | 203,1 |
| 11 | 138,8 | 140,7 | -1,9 | 117,6 | 149,2 | 215,5 |
| 12 | 123,8 | 121,4 | 2,4 | 110,1 | 133,4 | 197,4 |
| GOD | 1099,5 | 1114,4 | -14,9 | 980,1 | 1192,5 | 1666,3 |

Usporedba srednjih godišnjih količina oborine za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981.-2010. (Slika 3.3-7).

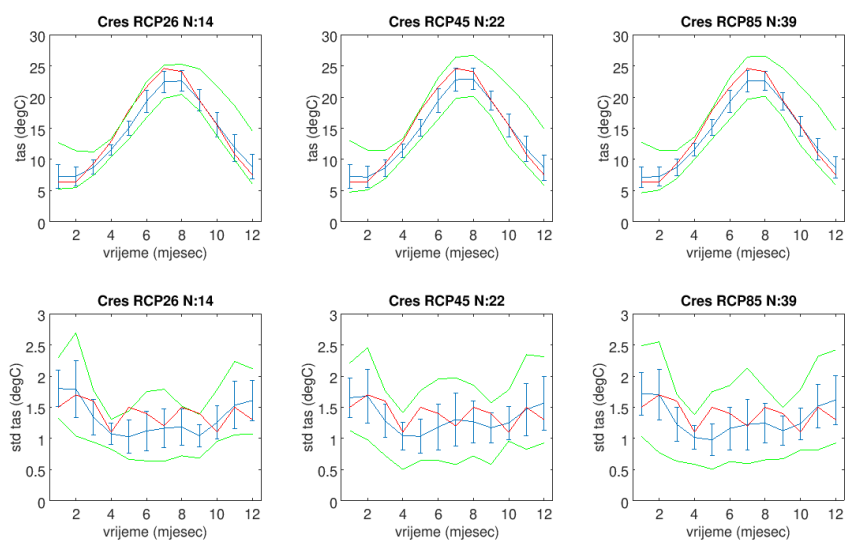


Slika 3.3-7. Srednja godišnja količina oborine za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981.-2010.

3.3.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima

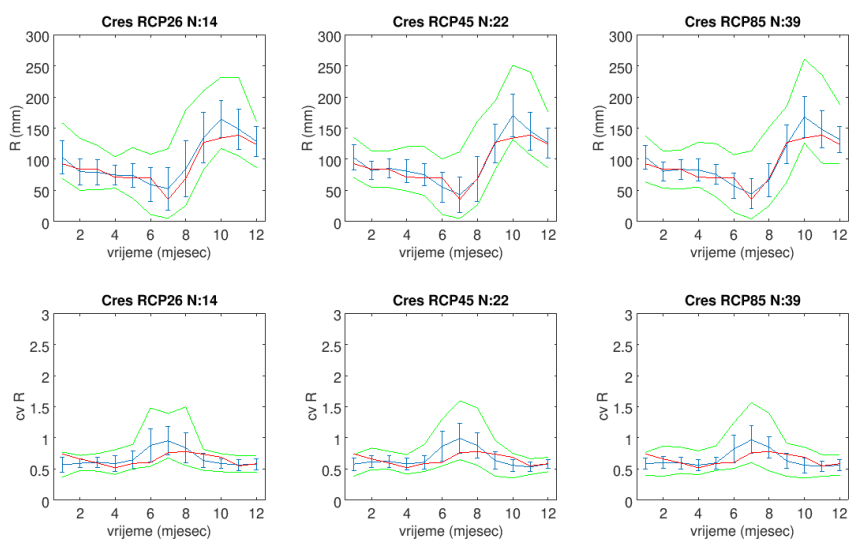
3.3.3.1 Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

Analizirane simulacije povijesne klime upućuju na tendenciju podcjenjivanja srednje temperature zraka u toplom dijelu godine u sva tri podskupa simulacija (Slika 3.3-8, prvi red). U pojedinim mjesecima su mjerenja čak izvan rasapa ansambla, no i u tim mjesecima ukupan raspon simulacija regionalnih klimatskih modela sadrži izmjerene vrijednosti. Sličan odnos između rezultata na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija i mjerenja nalazimo i u slučaju standardne devijacije temperature zraka, gdje su odstupanja između srednjaka ansambla i mjerenja izraženija u svibnju (Slika 3.3-8, drugi red). Unatoč odstupanjima pojedinačnih modela od mjerenja, korištenjem ansambla regionalnih klimatskih simulacija dobiveno je realistično simuliranje osnovnih svojstava godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka i pripadne varijabilnosti.

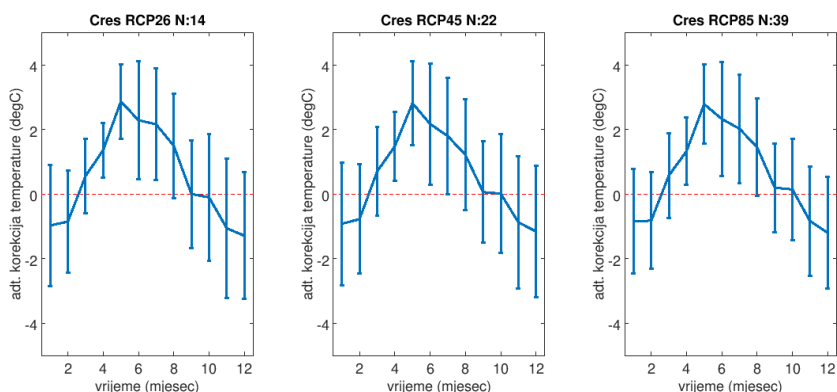


Slika 3.3-8. Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (t_{as} , u °C) (prvi red) i godišnji hod standardne devijacije mjesečne temperature zraka ($std\ t_{as}$, u °C) (drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981.-2010. Izvor: mjerenja DHMZ-a i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Cres.

Usporedbom ansambla simulacija regionalnih klimatskih modela i mjerenja za srednju mjesečnu količinu oborine možemo zaključiti kako unatoč značajnom rasponu simuliranih vrijednosti (zelene linije) te umjerenom rasapu istih simulacija (plavi stupići), srednjak ansambla realistično prati opažene srednje vrijednosti (Slika 3.3-9, prvi red). Određeno precjenjivanje mjesečnih količina na razini srednjaka ansambla je prisutno u listopadu no rasap ansambla uspijeva obuhvatiti mjerenja i tom mjesecu. U slučaju varijabilnosti mjerene koeficijentom varijacije, nalazimo određene poteškoće u fazi i amplitudi maksimuma (Slika 3.3-9, drugi red). Ansambl modela daje razdoblje povećane varijabilnosti u ljetnim mjesecima, dok se u mjerenjima povećana varijabilnost javlja u jesen. Unatoč određenim ograničenjima na razini srednjaka ansambla simuliranog koeficijenta varijacije, izmjerene vrijednosti nalazimo unutar rasapa ansambla u većem dijelu godine u sva tri podskupa regionalnih klimatskih simulacija.



Slika 3.3-9. Godišnji hod srednje mjesečne količine oborine (R , u mm; prvi red) i godišnji hod koeficijenta varijacije mjesečne količine oborine (cv ; drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981.-2010. Izvor: mjerenja DHMZ i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Cres.

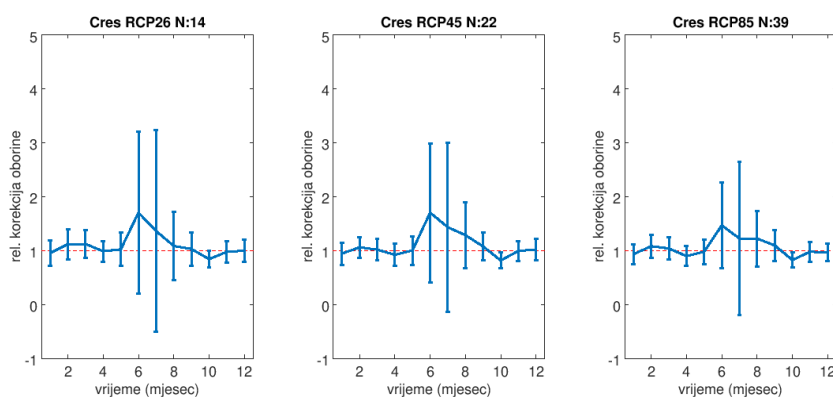


Slika 3.3-10. Godišnji hod aditivne korekcije srednje mjesečne temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Cres.

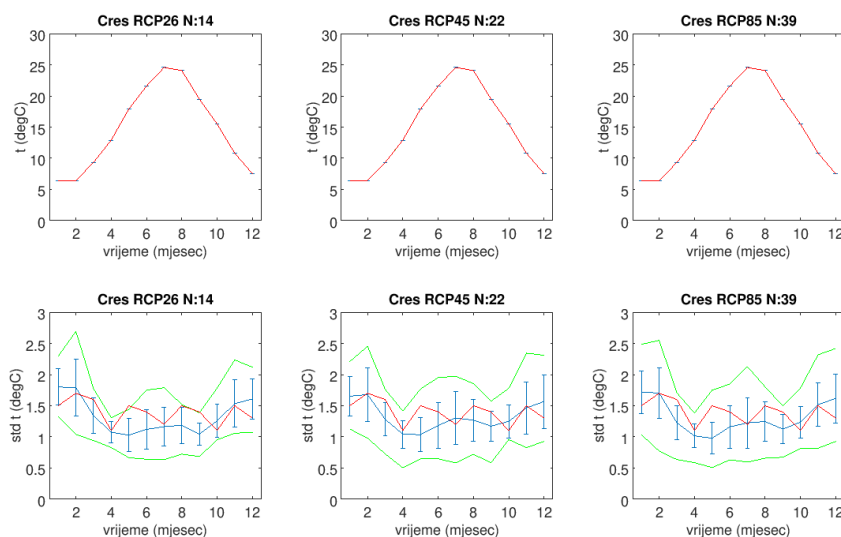
Primjenom statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka u rezultatima simulacija regionalnih klimatskih modela, omogućit će se primjena ovih simulacija kao ulaznih nizova za potrebe hidrološkog modeliranja. Za srednju temperaturu zraka određene su aditivne korekcije za svaki model i svaki mjesec (Slika 3.3-10). U sva tri podskupa simulacija nalazimo usporedive rezultate. Srednjak ansambla aditivnih korekcija je negativan za siječanj, veljaču, studeni i prosinac, pozitivan za ožujak, travanj, svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz te blizak nuli za rujanj i listopad. Na

razini rasapa ansambla standardna devijacija aditivnih korekcija ima vrijednosti od 2 °C do 4 °C. Za većinu mjeseci rasap ansambla uključuje 0 °C, osim za razdoblje od travnja do srpnja gdje je i ranije detektirano podcjenjivanje simuliranih mjesečnih temperatura zraka u odnosu na mjerenja.

U slučaju srednje mjesečne oborine, statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka dobiva se primjenom relativnih korekcija (Slika 3.3-11). Srednjak i rasap ansambla relativnih korekcija (na osnovi pojedinačnih modelskih realizacija za svaki mjesec posebno) ukazuje na tri tipične situacije: (1) relativne korekcije su manje od 1,0 (bezdimezionalna veličina) za listopad, mjesec za koji je na Slici 3.3-9 utvrđena tendencija precjenjivanja količine oborine, (2) relativne korekcije su izraženo veće od 1,0 za lipanj i srpanj, a rasap ansambla relativnih korekcija ističe se za iste mjesece uz dodatak kolovoza, (3) za ostale mjesece je srednjak ansambla relativnih korekcija blizak 1,0 uz rasap istog ansambla reda veličine 0,5.



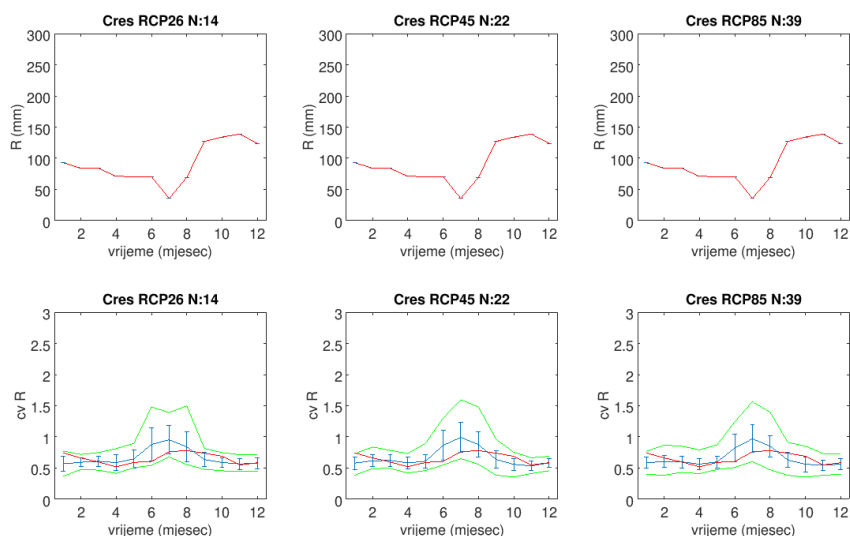
Slika 3.3-11. Godišnji hod relativne korekcije srednje mjesečne količine oborine (bezdimezionalna veličina). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Cres.



Slika 3.3-12. Isto kao Slika 3.3-8 za statistički obrađene RCM simulacije. Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Cres.

Kao dodatnu provjeru uspješnosti statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, Slike 3.3-12 i 3.3-13 prikazuju srednju temperaturu zraka i količinu oborine te pripadnu varijabilnost izraženu standardnom devijacijom tj. koeficijentom varijacije nakon primjene aditivne tj. relativne korekcije. U slučaju srednje temperature zraka i količine oborine (prvi red Slike 3.3-12 i Slike 3.3-13), prema definiciji metode za statističko uklanjanje dobivamo očekivano izjednačavanje simuliranih i opaženih vrijednosti unutar razdoblja od 1981. do 2010. (ne i na razini pojedinih mjeseci unutar istog razdoblja) te je rasap ansambla 0 °C i 0 mm. Primijenjena metoda ne utječe na standardnu devijaciju simulirane temperature kao ni na koeficijent varijacije simulirane količine oborine što je

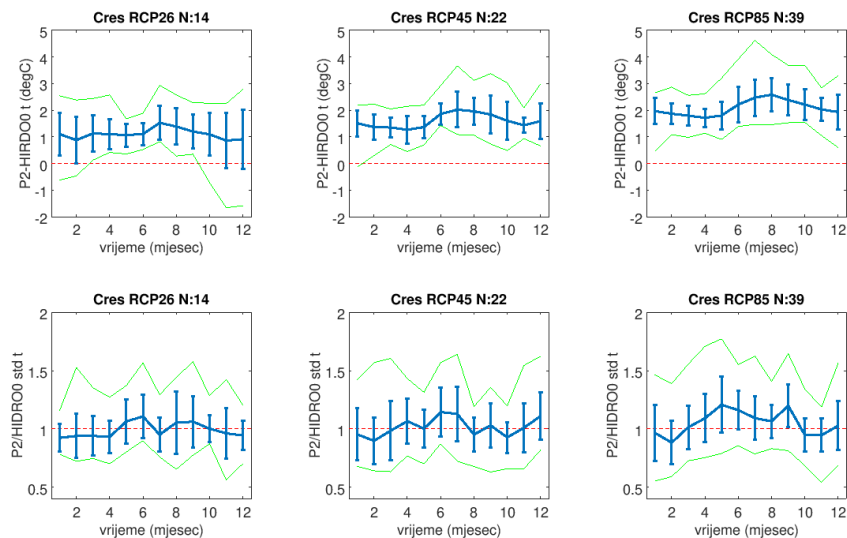
potvrđeno usporedbama **Slike 3.3-8** i **Slike 3.3-12** za temperaturu, tj. **Slike 3.3-9** i **Slike 3.3-13** za oborinu (drugi red).



Slika 3.3-13. Isto kao Slika 3-28 za statistički obrađene RCM simulacije. Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Cres.

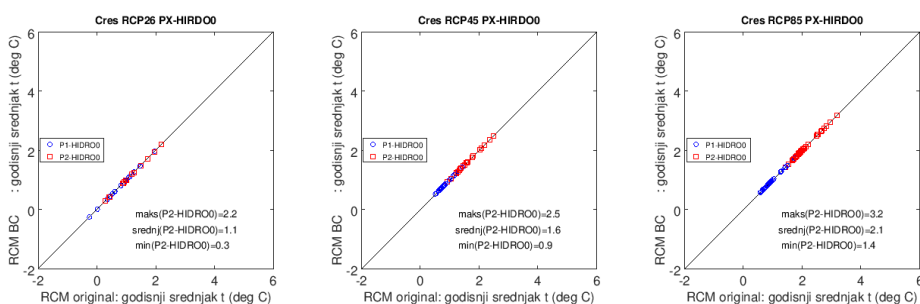
3.3.3.2. Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena

Regionalni klimatski modeli evaluirani u prethodnom poglavlju u odnosu na mjerenja DHMZ-a u razdoblju 1981.-2010. korišteni su za procjenu signala klimatskih promjena na srednjoj mjesečnoj razini. U slučaju temperature zraka, prikazujemo razlike između simulirane srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981.-2010. (**Slika 3.3-14, prvi red**) te omjere simuliranih standardnih devijacija između ista dva razdoblja (**Slika 3.3-14, drugi red**). U slučaju srednje temperature, nalazimo relativno jednolik porast temperature tijekom čitave godine (uz izraženije zagrijavanje u ljetnim mjesecima) uz porast nivoa zagrijavanja podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5. U slučaju scenarija RCP2.6, nalazimo mjesec kada raspon (zeleno) i/ili rasap (plavo) ansambla uključuje negativne vrijednosti, i to u hladnom dijelu godine. Ipak, ovo nije situacija u scenariju RCP4.5 i posebno izraženo u scenariju RCP8.5. U slučaju omjera standardne devijacije temperature zraka nalazimo jačanje tendencije porasta u toplom dijelu godine podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5, no rasap i raspon na razini ansambla gotovo uvijek sadržava vrijednost 1,0 (iznimka je rujna u RCP8.5 za rasap ansambla) tako da ovaj tip analize za dva promatrana razdoblja ne ukazuje na jasan signal na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija. Ovo potvrđuje potrebu korištenja ansambla klimatskih modela u istraživanjima klimatskih promjena u područjima utjecaja kako bi se izbjegla ovisnost o jednom scenariju i jednom ili manjem broju modelskih realizacija.



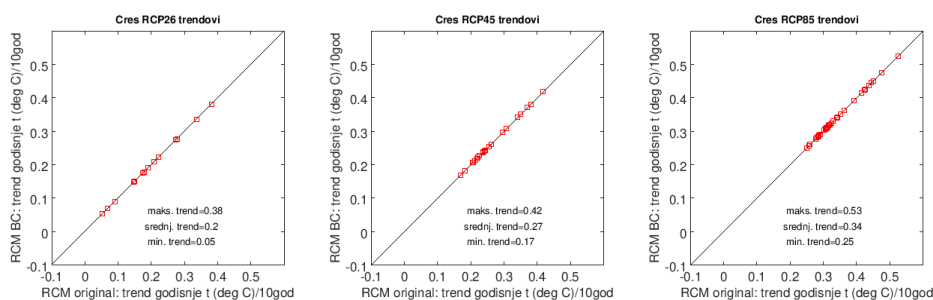
Slika 3.3-14. Razlika mjesečnih srednjaka temperature zraka između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih standardnih devijacija temperature zraka između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Cres.

Osim usporedbe na srednjoj mjesečnoj skali, iste simulacije su analizirane i na srednjoj godišnjoj skali (Slika 3.3-15). Slika 3.3-15 sadrži tri dodatna elementa: (1) usporedbu promjena prije (x-os) i poslije (y-os) statističkog uklanjanja sustavne pogreške, (2) usporedbu referentnog povijesnog razdoblja s razdobljem 2011.-2040. (plavo) i s razdobljem 2041.-2070. (crveno) te (3) prikaz svake pojedinačne modelirane realizacije. Rezultati pokazuju: (1) zagrijavanje na godišnjoj skali u svim simulacijama usporedbom 2041.-2070. i 1981.-2010., (2) ovisno o primijenjenom scenariju srednje zagrijavanje raste u RCP2.6 od 1,1 °C (uz raspon 0,3 – 2,2 °C), u RCP4.5 1,6 °C (uz raspon 0,9 – 2,5 °C) te u RCP8.5 2,1 °C (uz raspon 1,4 – 4,2 °C), (3) jačanje signala simuliranjem vremenski udaljenijeg razdoblja izostaje u slučaju RCP2.6 te je umjereno i očito izraženo u RCP4.5 i RCP8.5, (4) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na signal klimatskih promjena, što je očekivano s obzirom na aditivnu korekciju u slučaju temperature zraka.



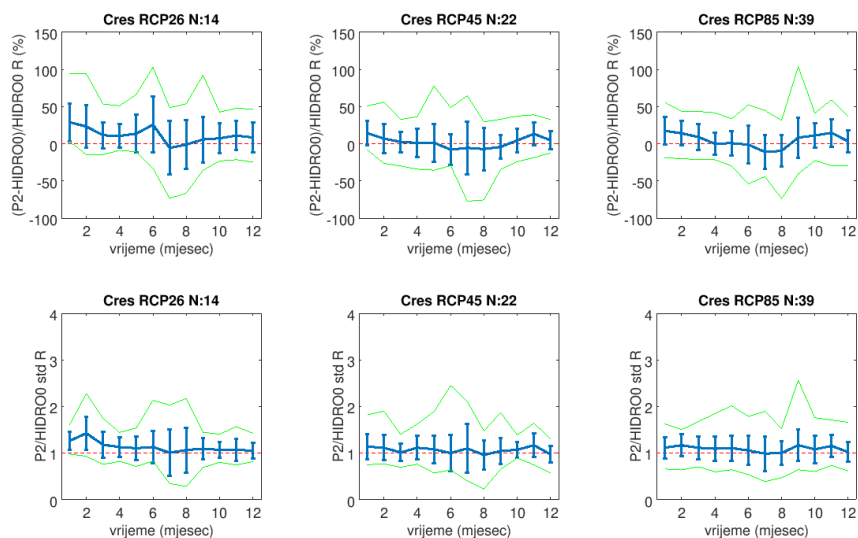
Slika 3.3-15. Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011.-2040. u odnosu na 1981.-2010.; Crveno: 2041.-2070. u odnosu na 1981.-2010. Analizirana veličina: srednja godišnja temperatura zraka (°C). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Cres.

Osim promjena između dva tridesetogodišnja razdoblja, utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.3-16). Rezultati uključuju sljedeće: (1) zagrijavanje nalazimo u svim simulacijama, neovisno o scenariju; (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u RCP2.6 od 0,20 °C/10 god. (0,05 – 0,38 °C/10 god.), u RCP4.5 0,27 °C/10 god. (0,17 – 0,42 °C/10 god.) te u RCP8.5 0,34 °C/10 god. (0,25 – 0,53 °C/10 god.); (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na trend godišnjih temperatura zraka.



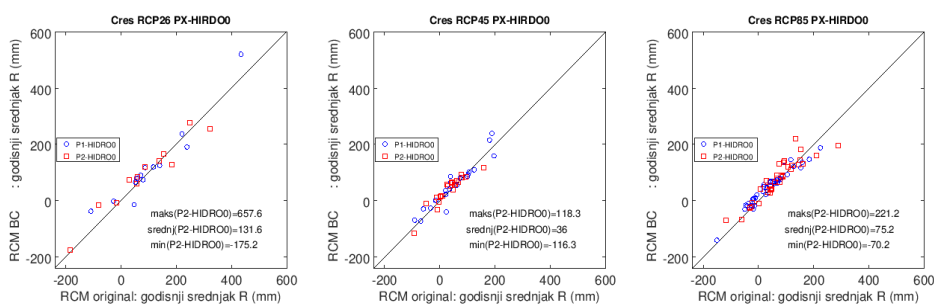
Slika 3.3-16. Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971.-2070. Analizirana veličina: trend godišnje temperature zraka (°C/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Cres.

U slučaju količine oborine, prikazujemo relativne razlike između simulirane srednje mjesečne količine oborine u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981.-2010. (Slika 3.3-17, prvi red) te omjere simuliranih koeficijenata varijacije između ista dva razdoblja (Slika 3.3-17, drugi red). Rezultate za sva tri podskupa regionalnih klimatskih modela možemo sažeti: (1) srednjak ansambla pokazuje sklonost negativnim promjenama u toplom dijelu godine te povećanju u hladnom dijelu godine u scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, dok se u scenariju RCP2.6 javljaju pozitivne relativne promjene u svim mjesecima osim za srpanj; (2) unatoč promjenama simuliranim na razini srednjaka ansambla, rasap i raspon ansambla gotovo uvijek su isti, tj. 0 % (jedina iznimka je rasap ansambla u siječnju u slučaju scenarija RCP2.6); (3) omjer budućih i povijesnih koeficijenata varijacije ne pokazuje tendenciju značajnih promjena.



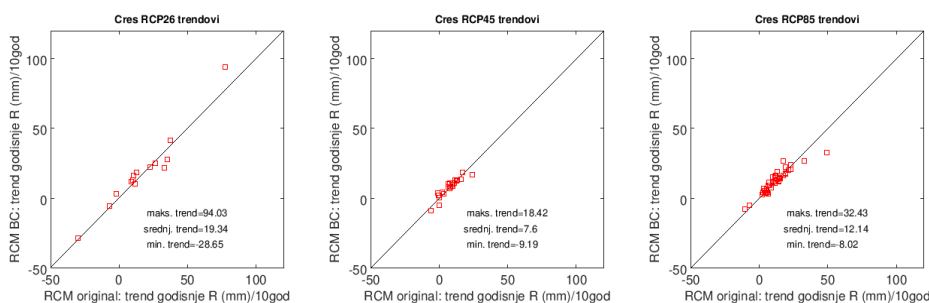
Slika 3.3-17. Relativna razlika mjesečnih količina oborine između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih koeficijenata varijacije/standardne devijacije količine oborine između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Cres.

Analiza simulacija na srednjoj godišnjoj skali ukazuje na tendenciju blagog povećanja količine oborine u sva tri scenarija (Slika 3.3-18). Rezultati uključuju sljedeće: (1) ovisno o primijenjenom scenariju srednje povećanje oborine raste u RCP2.6 131,6 mm (uz raspon od -175,2 do 657,6 mm), u RCP4.5 36 mm (uz raspon od -116,3 do 118,3 mm) te u RCP8.5 75,2 mm (uz raspon od -70,2 do 221,2 mm), (2) ne postoji izražena razlika između signala relativnih promjena u dva buduća razdoblja u odnosu na 1981.-2010., (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka pokazuje veću osjetljivost nego u slučaju srednjih godišnjih temperatura no ograničeno utječe na signal klimatskih promjena.



Slika 3.3-18. Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011.-2040. u odnosu na 1981.-2010.; Crveno: 2041.-2070. u odnosu na 1981.-2010. Analizirana veličina: srednja godišnja količina oborine (mm). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Cres.

Utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogreška analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.3-19). Rezultati uključuju sljedeće: (1) tendencija blagog porasta srednje godišnje količine oborine neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u statistički obrađenim simulacijama u RCP2.6 za iznos 19,34 mm/10 god. (raspon od -28,65 do 94,03 mm/10 god.), u RCP4.5 za iznos 7,6 mm/10 god. (raspon od -9,19 do 18,42 mm/10 god.) te u RCP8.5 za iznos 12,14 mm/10 god. (raspon od -8,02 do 32,43 mm/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka utječe ograničeno na magnitudu trenda godišnjih količina oborine.



Slika 3.3-19. Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971.-2070. Analizirana veličina: trend godišnje količina oborine (mm/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Cres.

3.4. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli

Klima pilot područja Blatskog polja na otoku Korčuli analizirana je prema podacima meteorološke postaje Vela Luka ($h = 5$ m, $\phi = 42^{\circ}58' N$, $\lambda = 16^{\circ}43' E$) najbliže predmetnom pilot području (Pog. 3.4.1). Klimatske prilike razdoblja 1981.-2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine (Pog. 3.4.2). Buduća klima i klimatske promjene prikazana je rezultatima klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu (Pog. 3.4.3). Korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX inicijative (Jacob et al., 2014; Kotlarski et al., 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017).

3.4.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Vela Luka

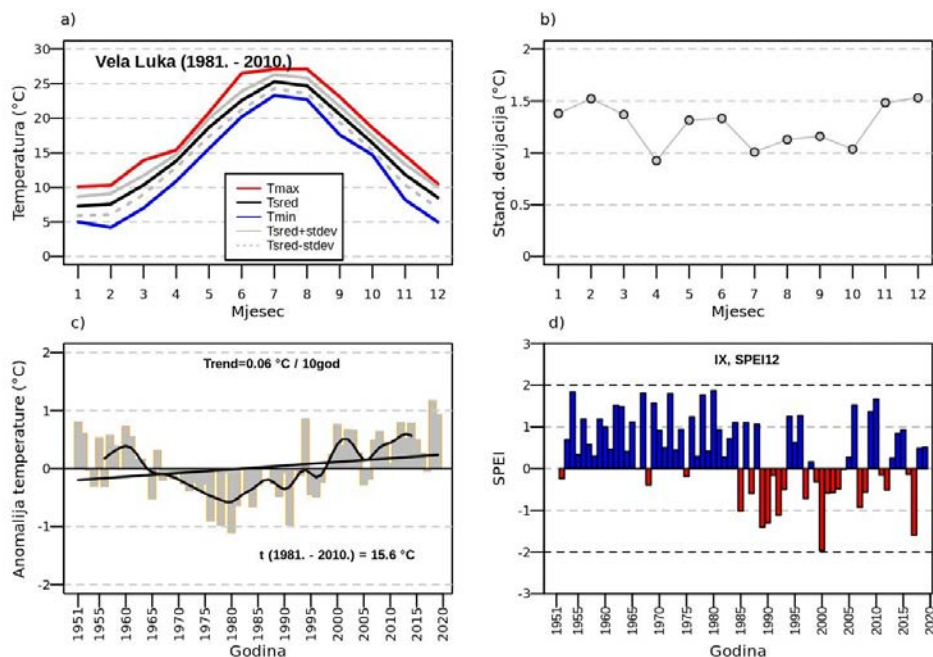
U ovom poglavlju prikazane su opće klimatske karakteristike na području Blatskog polja na otoku Korčuli, te anomalije i opažene promjene temperature zraka i količine oborine. Godišnji hodovi pojedinog klimatološkog elementa i njihova međugodišnja varijabilnost analizirani su prema podacima meteorološke postaje Vela Luka za referentno klimatološko razdoblje 1981.-2010. (potpoglavlje 3.4.1.1), dok je analiza trenda te ocjena sušnosti/kišnosti za pojedinu godinu provedena za najdulje raspoloživo razdoblje podataka, 1951.-2019. (potpoglavlje 3.4.1.2). Rezultati su uspoređeni s ranijom klimatološkom analizom na istom području koja je provedena za potrebe projekta CC-Waters (Gajić-Čapka et al., 2010), a za koju je korišteno referentno klimatološko razdoblje 1961.-1990.

3.4.1.1. Opće klimatske karakteristike

Glavne klimatske karakteristike otoka Korčule određene su atmosferskom cirkulacijom umjerenih širina, utjecajem mora te kopnenom unutrašnjosti u zaleđu, a u manjoj mjeri klimu ovog područja modificira konfiguracija terena, tip tla i slično. Zbog svog položaja, ljeti ovo područje dolazi pod utjecaj subtropske zone visokog tlaka s prevladavajućim suhim i toplim vremenskim obilježjima (Zaninović et al., 2008). U hladnom dijelu godine, Korčula je pod utjecajem vjetera zapadnih smjerova koji dominiraju u umjerenim širinama s redovitim izmjenama visokog i niskog tlaka zraka (Gajić-Čapka et al., 2010). Utjecaj mora na klimu ovog područja se ponajviše očituje ublažavanjem temperaturnih ekstrema kroz godinu. Naime, zbog svog velikog toplinskog kapaciteta, more se ljeti manje ugrije nego kopno te u ljetnim mjesecima ima osvježavajući učinak, dok zimi smanjuje hladnoću.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Kottke et al., 2006; Penzar & Makjanić, 1978), koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, područje Vela Luke ima umjereno toplu kišnu klimu (C) kojoj odgovara srednja temperatura najhladnijeg mjeseca viša od -3 °C i niža od 18 °C. Najsušni mjesec je u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) s manje od 40 mm oborine koja je bar tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka s). Ljeta su vruća sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od 22 °C (oznaka a). Konačna Köppenova oznaka za klimu na području Vela Luke je Csa.

Srednji godišnji hod **temperature zraka** na postaji Vela Luka ima jasan valni oblik s maksimumom u srpnju (25,3 °C), te minimumom u siječnju (7,3 °C) (Slika 3.4-1a). Utjecaj mora na godišnji hod temperature zraka očituje se u sporom jesenjem ohlađivanju i još sporijem proljetnom grijanju, tako da je proljeće u prosjeku hladnije od jeseni za 2°C (Tablica 3.4-1). Zbog jakog utjecaja mora koji ublažava temperaturne ekstreme, vrijednosti standardnih devijacija upućuju na podjednaku stabilnost temperature zraka tokom godine (od 0,8 °C do 0,9 °C). Nešto veće odstupanje može se očekivati u hladnom dijelu godine, od studenog do ožujka (1,4 – 1,5 °C), a najmanje u travnju, srpnju i listopadu (0,9 – 1,0 °C) (Slika 3.4-1b). Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Vela Luka iznosi 15,6 °C, a vrijednosti srednje godišnje temperature u analiziranom 30-godišnjem razdoblju kretale su se od 14,7 °C do 16,5 °C. Standardna devijacija je na godišnjoj razini manja od sezonskih vrijednosti i iznosi 0,5 °C. Usporedbom s prethodnim razdobljem, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010), srednja godišnja temperatura zraka se povećala za 0,2 °C, a stabilnost godišnje srednje dnevne temperature zraka se smanjila za 0,1 °C što je posljedica povećanja nestabilnosti temperature zraka u svim sezonama, osim jeseni. U Tablici 3.4-1 navedene su i vrijednosti percentila koji određuju (empirijsku) vjerojatnost prekoračenja ekstremnih vrijednosti temperature zraka. Razlika između 2. i 98. percentila nešto je veća ljeti nego u ostalim sezonama. Usporedbom s rezultatima iz ranijeg razdoblja, 1961.-1990. (Gajić-Čapka et al., 2010), raspon percentila se u novijem razdoblju povećao u svim sezonama, osim u proljeće. Pogledamo li odstupanja između medijana (50. percentila) i 2., odnosno 98. percentila, koje bi u slučaju normalne i stacionarne razdiobe trebale biti jednake, u proljeće je uočeno veće odstupanje 98. percentila od medijana nego što je to slučaj za lijevi dio razdiobe, ukazujući na moguće povećanje asimetrije proljetne razdiobe srednje dnevne temperature zraka.



Slika 3.4-1. (a) Godišnji hod srednje, srednje minimalne i maksimalne mjesečne temperature zraka i (b) standardne devijacije i koeficijenta varijacije u razdoblju 1981. – 2010. (c) Vremenski niz odstupanja srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI), na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Vela Luka za razdoblje 1951. – 2019.

Tablica 3.4-1. Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka (u °C) na postaji Vela Luka, za razdoblje 1981.-2010.

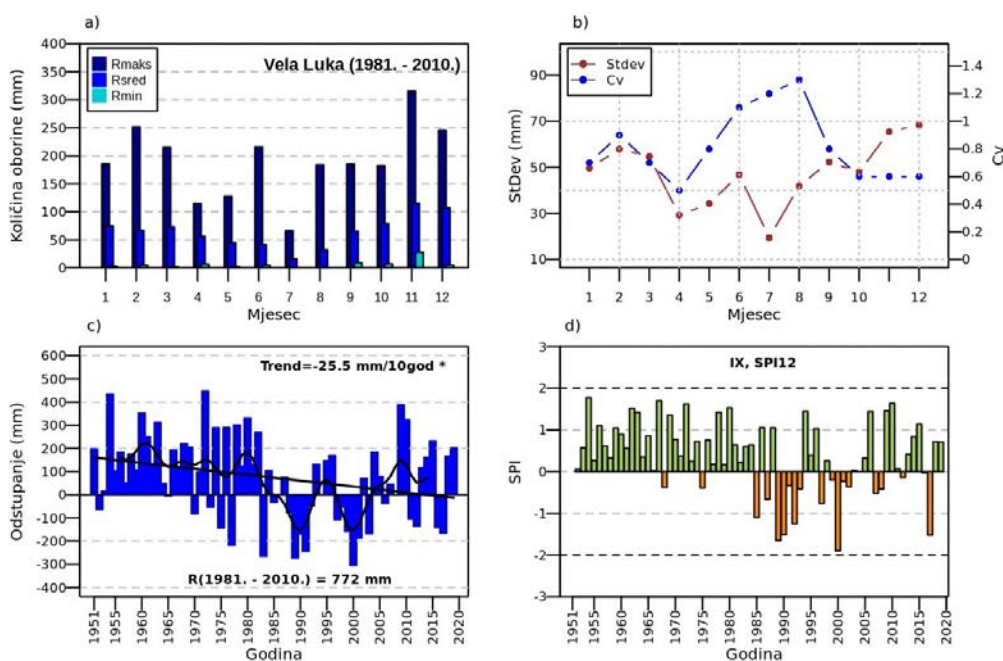
| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|------------|------|----------|-------|-------|--------|
| sred | 7,8 | 14,3 | 24,2 | 16,3 | 15,6 |
| stdev | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,5 |
| maks | 9,7 | 15,5 | 26,9 | 18,1 | 16,5 |
| min | 6,2 | 12,2 | 22,1 | 14,7 | 14,7 |
| Percentili | | | | | |
| 1. | 6,2 | 12,4 | 22,3 | 14,8 | 14,7 |
| 2. | 6,3 | 12,5 | 22,6 | 14,8 | 14,8 |
| 5. | 6,3 | 13 | 23 | 14,9 | 15 |
| 10. | 6,5 | 13,3 | 23,3 | 15 | 15,1 |
| 50. | 7,8 | 14,2 | 24,1 | 16,3 | 15,6 |
| 90. | 9 | 15,4 | 25,2 | 17,3 | 16,3 |
| 95. | 9,2 | 15,5 | 25,4 | 17,6 | 16,4 |
| 98. | 9,4 | 15,5 | 26,1 | 17,9 | 16,4 |
| 99. | 9,6 | 15,5 | 26,5 | 18 | 16,5 |

Odnos količine **oborine** toplog i hladnog dijela godine ukazuje na maritimni tip oborinskog režima na području Vele Luke, s većom količinom oborine u hladnom nego u toplom dijelu godine i minimumom ljeti (**Slika 3.4-2a**). Stoga i empirijska razdioba percentila sezonskih količina oborine i njihovo odstupanje od medijana pokazuje veće vrijednosti tijekom jesenskih i zimskih mjeseci (**Tablica 3.4-2**). Prosječno godišnje padne 771,7 mm oborine, a od toga 66 % padne u hladnom dijelu godine (jesen i zima) kad se mogu očekivati najintenzivnije dnevne količine oborine. Maksimum oborine tijekom godine nastupa u studenom (115,4 mm) dok je srpanj mjesec s najmanjom količinom oborine (15,9 mm) (**Slika 3.4-2a**). U analiziranom 30-godišnjem razdoblju maksimalna mjesečna količina oborine zabilježena je u studenom 1993. godine (315,7 mm) i bila je gotovo tri puta veća od prosječne količine oborine za studeni. Vrijednosti koeficijenta varijacije kreću se od 30 % u jesen do 70 % ljeti. Na mjesečnoj razini, promjenjivost od godine do godine varira u rasponu od 50 % (travanj) do 130 % (kolovoz) (**Slika 3.4-2b**). Godišnje količine oborine su stalnije od sezonskih i mjesečnih s promjenljivošću od 20 %. Godišnja količina oborine preko

968,8 mm može se očekivati prosječno jednom u 10 godina, dok 50-godišnja povratna vrijednost iznosi 1125,4 mm. Proljetna i ljetna količina oborine koja odgovara 10-godišnjoj i većoj povratnoj vrijednosti (≥ 90 . percentil) su sličnih vrijednosti. Za lijevi dio empirijske razdiobe percentila, najveće su jesenske količine oborine, dok su u desnom dijelu veće zimske količine oborine. S druge strane, ekstremno sušne godine, odnosno sezone, su one u kojima je zabilježena količina oborine manja od pripadnog 2. percentila. Ta vrijednost je, u godišnjem hod, najmanja u ljetnim mjesecima. U usporedbi s ranijem klimatološkim razdobljem, u novijem razdoblju su vrijednosti percentila u svim sezonama znatno manje, što upućuje na sušnije prilike na ovom pilot području, u skladu s opaženim osušenjem u Sredozemlju.

Tablica 3.4-2. Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimum i minimum i percentili) sezonske i godišnje količine oborine (u mm) na postaji Vela Luka, za razdoblje 1981.-2010.

| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|------------|-------|----------|-------|-------|--------|
| sred | 249,9 | 173,5 | 89,8 | 260,2 | 771,7 |
| stdev | 127,9 | 66,5 | 60,8 | 89 | 180,0 |
| cv | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 0,2 |
| maks | 590,4 | 364,3 | 219,3 | 482,7 | 1163,2 |
| min | 43,8 | 69,8 | 16,9 | 118,3 | 463,9 |
| Percentili | | | | | |
| 1. | 45,1 | 74,1 | 17,1 | 122,8 | 473,1 |
| 2. | 46,4 | 78,4 | 17,3 | 127,3 | 482,3 |
| 5. | 78,5 | 93,4 | 18,9 | 142,1 | 499,2 |
| 10. | 116,4 | 104,9 | 26,4 | 154,2 | 522,5 |
| 50. | 246,4 | 153,2 | 79,6 | 270,1 | 771,3 |
| 90. | 404,8 | 256,7 | 193,7 | 337,5 | 968,8 |
| 95. | 475,6 | 284,4 | 199,8 | 401,8 | 1074,1 |
| 98. | 535,2 | 326,3 | 208,6 | 451,6 | 1125,4 |
| 99. | 562,8 | 345,3 | 214,0 | 467,1 | 1144,3 |



Slika 3.4-2. (a) Godišnji hod srednje količine oborine i (b) standardne devijacije u razdoblju 1981.-2010. (c) Vremenski niz odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Vela Luka za razdoblje 1951.-2019.

3.4.1.2. Klimatske anomalije i trend

Na **Slici 3.4-1c** prikazane su godišnje anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na referentni srednjak (1981.-2010.) na postaji Vela Luka te iznos linearnog trenda za razdoblje 1951.-2019. Rezultati pokazuju statistički značajan porast temperature zraka u toplom dijelu godine (od 0,12 do 0,24 °C) te negativan trend u hladnom dijelu godine (**Tablica 3.4-3**) rezultirajući blagim porastom temperature zraka na godišnjoj razini (0,06 °C). Naime, u razdoblju od 1966. do 1994. odstupanje godišnje temperature zraka od prosjeka bilo je negativno, dok je od početka 21. stoljeća zabilježeno pretežno pozitivno odstupanje temperature zraka od prosjeka. Najtoplija godina na području Vele Luke bila je 2018. s prosječnom godišnjom dnevnom temperaturom zraka od 16,8 °C.

Rezultati trenda godišnje količine oborine na postaji Vela Luka pokazuju statistički značajno smanjenje oborine (-25,5 mm/10 god) koje je ponajviše posljedica statistički značajnog smanjenja zimske količine oborine (-15,9 mm/10 god), ali negativan trend prevladava i u svim ostalim sezonama. Usporedbom s rezultatima trenda ranijih analiza za razdoblje 1951.-2009. (**Gajić-Čapka et al., 2010**), u posljednjem desetljeću nastavilo se smanjenje ljetne količine oborine, ali u blažoj mjeri, dok se zimski trend smanjenja količine oborine znatno povećao. Proljetno slabo povećanje oborine u ranijem razdoblju se počelo smanjivati.

Na komponente vodne ravnoteže najviše utječe kombinacija promatranih meteoroloških parametara. Uz tendenciju smanjenja količine oborine i povećanja temperature zraka u toplom dijelu godine, postoji rizik od pojačanog isparavanja i mogućnosti manjka vode na području Blatskog polja.

Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (*SPI*) i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (*SPEI*) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (*SPI-12*, *SPEI-12*). U analiziranom 69-godišnjem razdoblju, primjetno je kako su do 1980-ih godina prevladavale pozitivne vrijednosti oba indeksa. Početkom 1990-ih, na hidrološkoj razini je zabilježeno sušno razdoblje u trajanju od pet godina, a potom su se izmjenjivala sušna i kišna razdoblja. Najsušnije godine bile su 2000. te 2017. godina. Slični rezultati oba indeksa upućuju na to da je uzrok sušnosti uglavnom bio deficit oborine, a manje ekstremne temperature.

Tablica 3.4-3. Rezultati trenda srednje sezonske i godišnje temperature zraka (*t*) i količine oborine (*R*) na postaji Vela Luka, razdoblje 1951.-2019. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

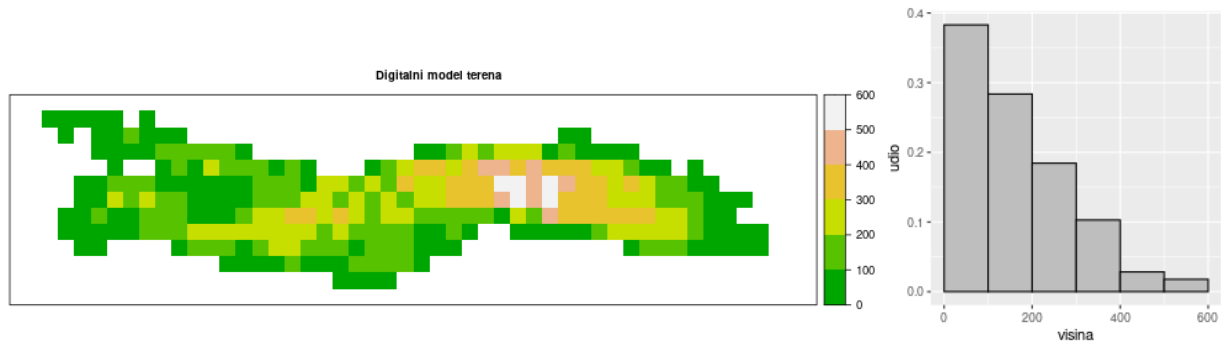
| | ZIMA | PROLJEĆE | LJETO | JESEN | GODINA |
|----------------------|--------------|-------------|-------------|-------|--------------|
| <i>t</i> (°C/10 god) | -0,13 | 0,12 | 0,24 | -0,02 | 0,06 |
| <i>R</i> (mm/10 god) | -15,9 | -0,7 | -2,0 | -2,4 | -25,5 |
| <i>R</i> (%/10 god) | -6,4 | -0,7 | -0,8 | -0,9 | -3,3 |

3.4.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine

Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine dominantno ovisi u geografskim obilježjima, posebno o nadmorskim visinama. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno 0,6°C/100m. Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska.

3.4.2.1. Digitalni model terena

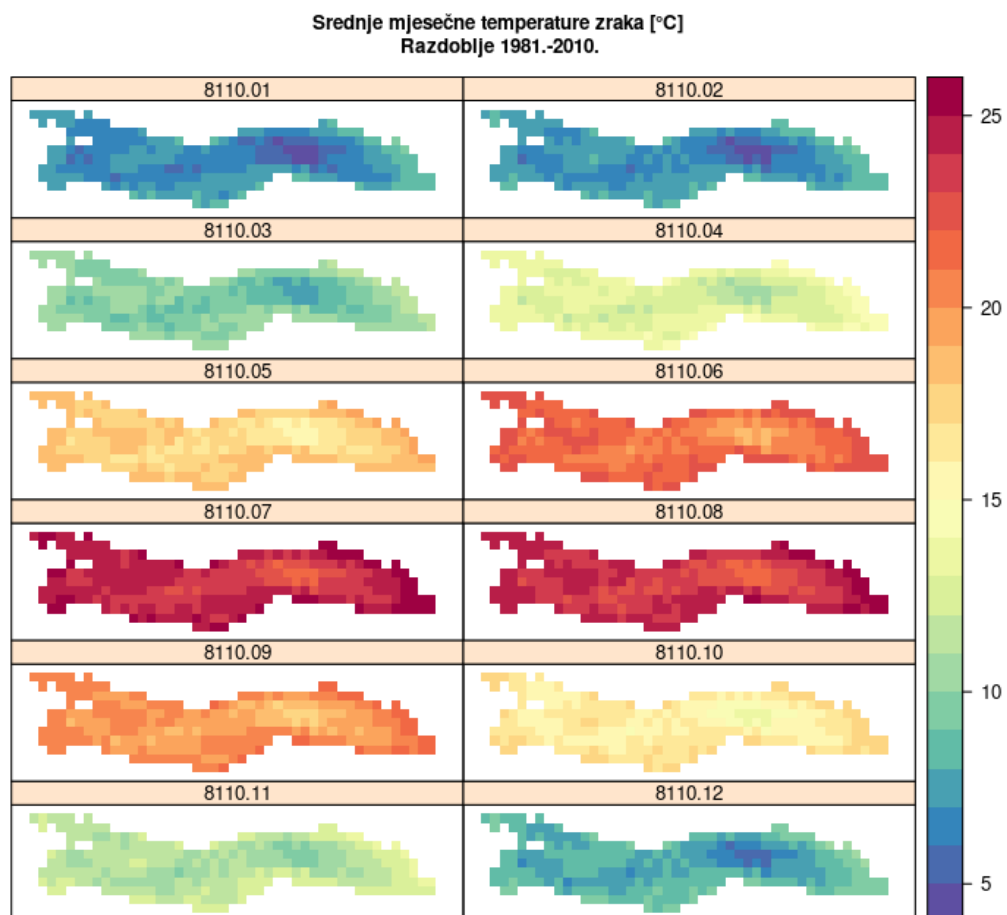
Prema korištenom digitalnom modelu terena rezolucije 1000 m (**Slika 3.4-3**) površina otoka Korčule iznosi 282 km². Najniža područja otoka Korčule nalaze se na 15 m n.m., a najviša su na 533 m n.m. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 38 % područja otoka Korčule na nadmorskim visinama do 100 m, 28 % na visinama od 100 - 200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Vela Luka, koja se nalazi na 5 m nadmorske visine, nisu reprezentativni za oko 34 % područja te se ukazuje na vrijednost gridova u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja.



Slika 3.4-3. (a) Digitalni model terena i (b) histogram visina.

Klimatske prilike razdoblja 1981.-2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine. Godišnje vrijednosti dane su za kalendarsku i hidrološku godinu (listopad – rujan).

3.4.2.2. Temperatura zraka



Slika 3.4-4. Srednje mjesečne temperature zraka za normalu razdoblja 1981.-2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

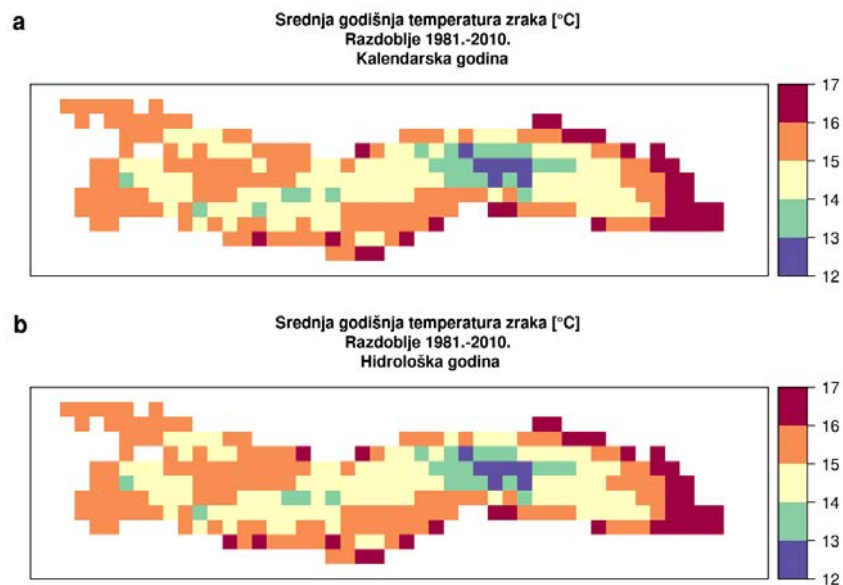
Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981.-2010. prikazana je na Slici 3.4-4, a detaljnije su u Tablici 3.4-4 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Usprkos položaju na obali podaci postaje Vela Luka (stupac lokacija u Tablici 3.4-4) usporedivi su sa srednjacima gridova (stupac gr.sred), a ne s maksimumima kako je bio slučaj kod prva dva pilot područja. Najniže mjesečne vrijednosti

temperature zraka su u siječnju, a najviše u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je od 12,6 °C na najvišim predjelima do 16,6 °C uz obalu. Srednja godišnja temperatura zraka na otoku je 15,0 °C. Razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Vela Luka ne prelaze 0,6 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

Tablica 3.4-4 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti temperature zraka iz gridova za otok Korčulu.

| mjesec | lokacija | lok.grid | lok.bias | gr.min | gr.sred | gr.maks |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 01 | 7,2 | 6,8 | 0,4 | 4,4 | 7,0 | 9,2 |
| 02 | 7,5 | 7,3 | 0,2 | 4,7 | 7,2 | 9,2 |
| 03 | 10,5 | 10,0 | 0,5 | 7,3 | 9,8 | 11,5 |
| 04 | 13,8 | 13,4 | 0,4 | 10,7 | 13,0 | 14,6 |
| 05 | 18,8 | 18,2 | 0,6 | 15,4 | 17,7 | 19,2 |
| 06 | 22,6 | 22,1 | 0,5 | 18,8 | 21,4 | 22,8 |
| 07 | 25,3 | 25,0 | 0,3 | 21,6 | 24,2 | 25,7 |
| 08 | 24,7 | 24,5 | 0,2 | 21,3 | 23,8 | 25,5 |
| 09 | 20,5 | 20,5 | 0,0 | 17,5 | 20,0 | 21,5 |
| 10 | 16,3 | 16,0 | 0,3 | 13,8 | 16,2 | 17,8 |
| 11 | 11,8 | 11,6 | 0,2 | 9,3 | 11,5 | 13,4 |
| 12 | 8,6 | 8,2 | 0,4 | 5,6 | 8,2 | 10,3 |
| GOD | 15,6 | 15,4 | 0,2 | 12,6 | 15,0 | 16,6 |

Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981.-2010. (Slika 3.4-5).

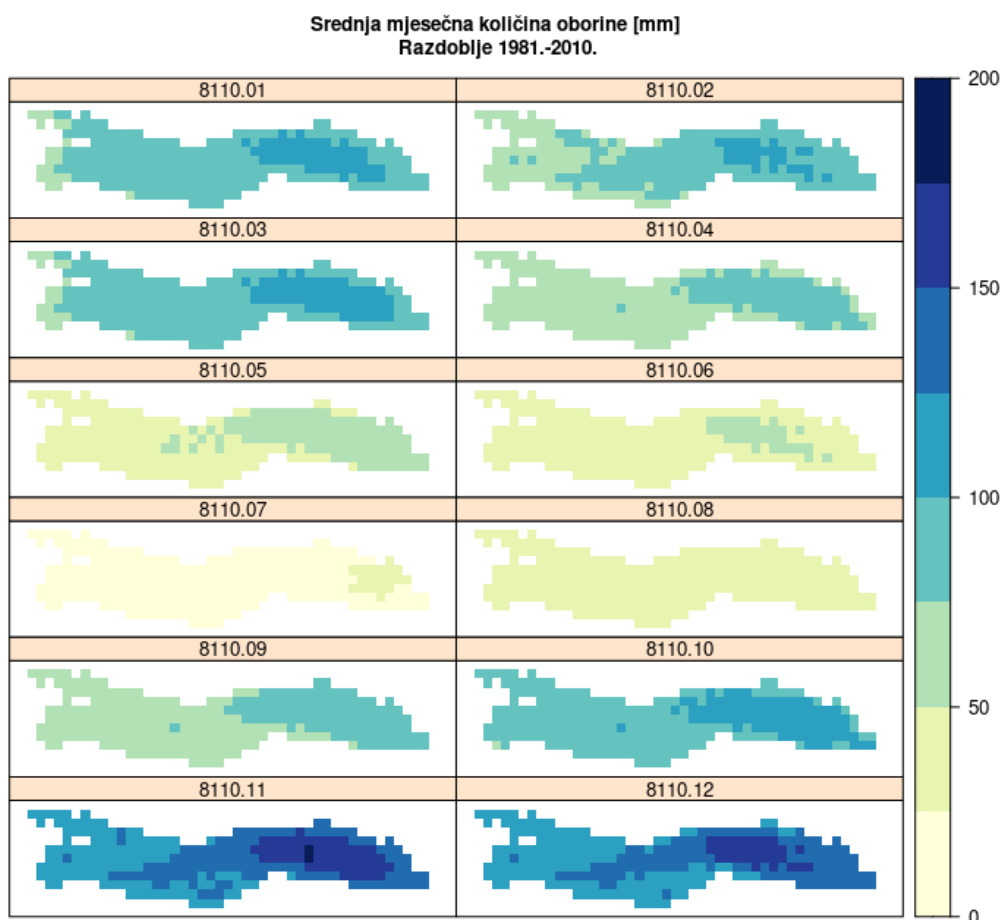


Slika 3.4-5. Srednja godišnja temperatura zraka za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981.-2010.

3.4.2.3. Količina oborine

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981.-2010. prikazana je na Slici 3.4-6, a detaljnije su u Tablici 3.4-5 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Vela Luka, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tablici 3.4-5) usporedive su s najnižim vrijednostima iz gridova (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Srednja godišnja količina oborine je od 745 mm na najnižim zapadnim dijelovima otoka do 1207 mm na vršnim istočnim dijelovima

otoka uz srednjak na otoku od 919 mm. Razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Vela Luka ne prelaze 4,2 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

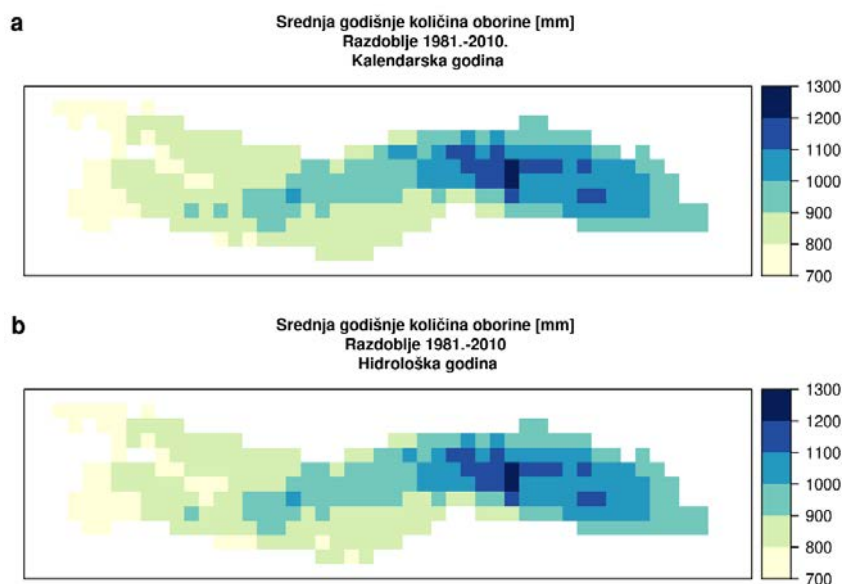


Slika 3.4-6. Srednje mjesečne sume količine oborine za normalu razdoblja 1981.-2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

Tablica 3.4-5. Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti količine oborine iz gridova za otok Korčulu. Razdoblje 1981.-2010.

| mjesec | lokacija | lok.grid | lok.bias | gr.min | gr.sred | gr.maks |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 01 | 71,9 | 75,2 | -3,3 | 70,1 | 88,9 | 120,0 |
| 02 | 64,6 | 67,8 | -3,2 | 63,0 | 82,7 | 113,9 |
| 03 | 73,9 | 75,4 | -1,5 | 70,5 | 90,1 | 120,9 |
| 04 | 56,2 | 58,5 | -2,3 | 53,8 | 70,4 | 96,0 |
| 05 | 42,4 | 43,1 | -0,7 | 38,6 | 48,6 | 62,4 |
| 06 | 41,7 | 41,0 | 0,7 | 38,9 | 45,1 | 54,9 |
| 07 | 15,9 | 16,6 | -0,7 | 15,8 | 19,4 | 26,1 |
| 08 | 32,9 | 33,1 | -0,2 | 31,1 | 37,1 | 45,4 |
| 09 | 67,0 | 63,5 | 3,5 | 57,8 | 72,2 | 89,4 |
| 10 | 78,8 | 81,6 | -2,8 | 74,8 | 94,2 | 119,3 |
| 11 | 115,5 | 111,3 | 4,2 | 103,7 | 132,0 | 176,5 |
| 12 | 109,3 | 107,0 | 2,3 | 101,2 | 127,1 | 174,5 |
| GOD | 771,6 | 787,5 | -15,9 | 744,9 | 918,6 | 1206,9 |

Usporedba srednjih godišnjih količina oborine za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981.-2010. (Slika 3.4-7).

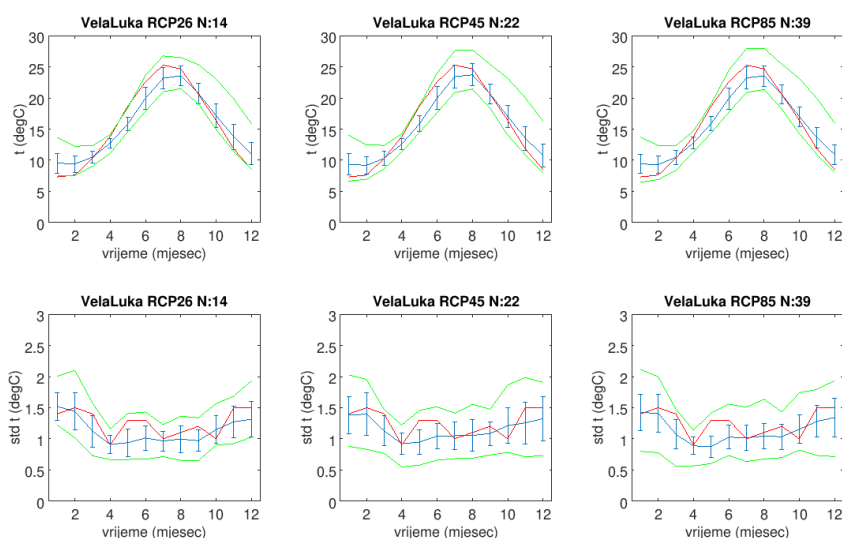


Slika 3.4-7. Srednja godišnja količina oborine za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981.-2010.

3.4.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima

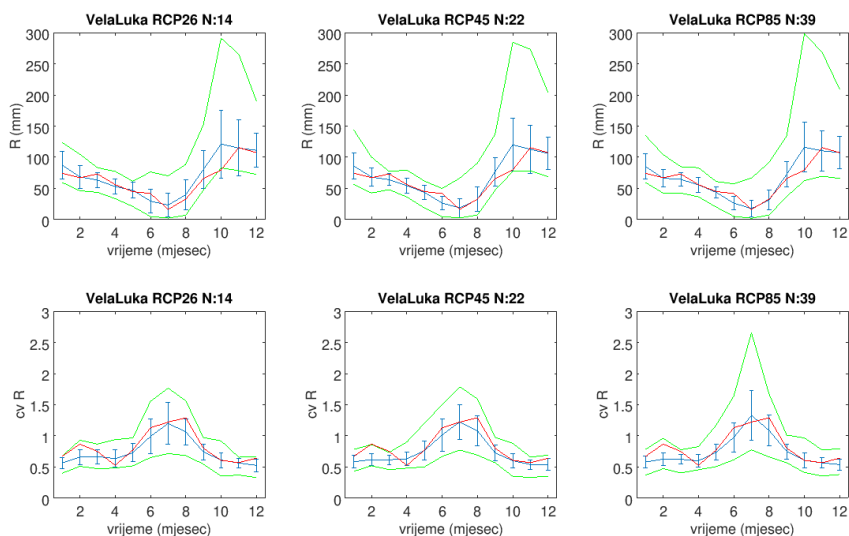
3.4.3.1. Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

Analizirane simulacije povijesne klime upućuju na tendenciju podcjenjivanja srednje temperature zraka u toplom dijelu godine u sva tri podskupa simulacija (Slika 3.4-8, prvi red). Mjerenja izlaze izvan rasapa ansambla za simulacije od travnja do srpnja, no i u tim mjesecima ukupan raspon simulacija regionalnih klimatskih modela sadrži vrijednosti koje nalazimo u mjerenjima. Sličan odnos između rezultata na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija i mjerenja nalazimo i u slučaju standardne devijacije temperature zraka, gdje su odstupanja između srednjaka ansambla i mjerenja izraženija u svibnju (Slika 3.4-8, drugi red). Unatoč odstupanjima pojedinačnih modela od mjerenja, korištenjem ansambla regionalnih klimatskih simulacija dobiveno je realistično simuliranje osnovnih svojstava godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka i pripadne varijabilnosti.

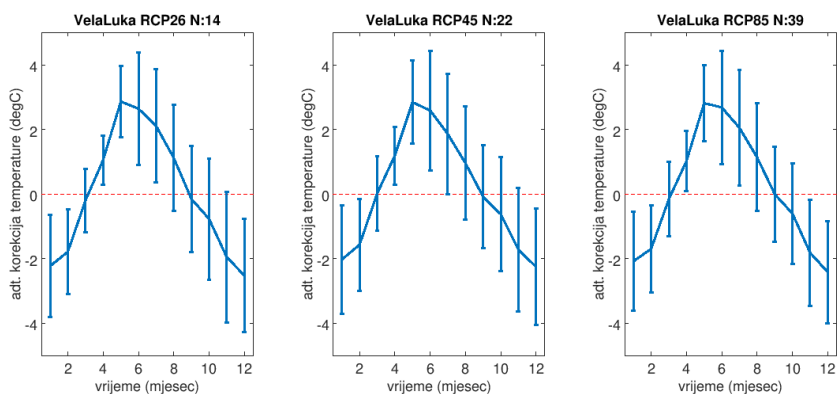


Slika 3.4-8. Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (°C) (prvi red) i godišnji hod standardne devijacije mjesečne temperature zraka (°C) drugi red. Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981.-2010. Izvor: mjerenja DHMZ-a i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Vela Luka.

Usporedbom ansambla simulacija regionalnih klimatskih modela i mjerenja za srednju mjesečnu količinu oborine možemo zaključiti kako unatoč značajnom rasponu simuliranih vrijednosti (zelena linija) te umjerenom rasapu istih simulacija (plavi stupići) srednjak ansambla realistično prati opažene srednje vrijednosti (Slika 3.4-9, prvi red). Određeno precjenjivanje mjesečnih količina na razini srednjaka ansambla je prisutno za listopad no rasap ansambla uspijeva obuhvatiti mjerenja u tom mjesecu. U slučaju varijabilnosti mjerene koeficijentom varijacije, nalazimo određene poteškoće u fazi i amplitudi maksimuma (Slika 3.4-9, drugi red). Ansambl modela daje maksimalnu varijabilnost u srpnju, dok se u mjerenjima maksimalna varijabilnost javlja u kolovozu. Unatoč određenim ograničenjima na razini srednjaka ansambla simuliranog koeficijenta varijacije, izmjerene vrijednosti nalazimo unutar rasapa ansambla u većem dijelu godine u sva tri podskupa regionalnih klimatskih simulacija.



Slika 3.4-9. Godišnji hod srednje mjesečne količine oborine (mm; prvi red) i godišnji hod koeficijenta varijacije mjesečne količine oborine (bez dimenzija; drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981.-2010. Izvor: mjerenja DHMZ i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Vela Luka.

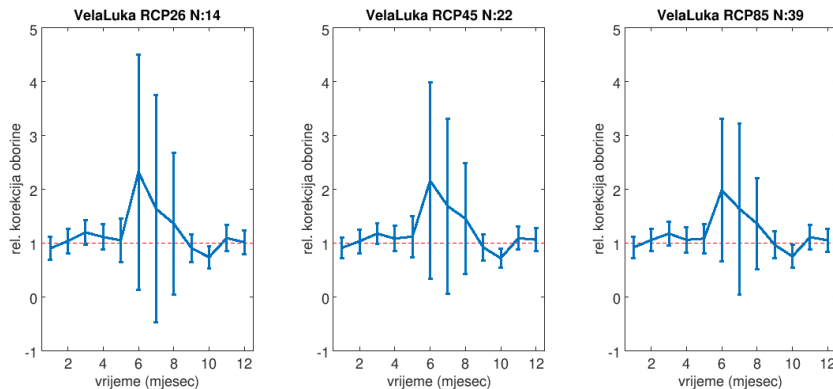


Slika 3.4-10. Godišnji hod aditivne korekcije srednje mjesečne temperature zraka (°C). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Vela Luka.

Primjenom statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka u rezultatima simulacija regionalnih klimatskih modela, omogućit će se primjena ovih simulacija kao ulaznih nizova za potrebe hidrološkog modeliranja. Za srednju temperaturu zraka određene su aditivne korekcije za svaki model i svaki mjesec (Slika 3.4-10). U sva tri podskupa simulacija nalazimo usporedive rezultate. Srednjak ansambla aditivnih korekcija je negativan za siječanj, veljaču, listopad, studeni i prosinac, pozitivan za travanj, svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz te blizak nuli za ožujak i rujan. Na razini rasapa ansambla standardna devijacija aditivnih korekcija ima vrijednosti od 1,5 °C do 4 °C. Za većinu

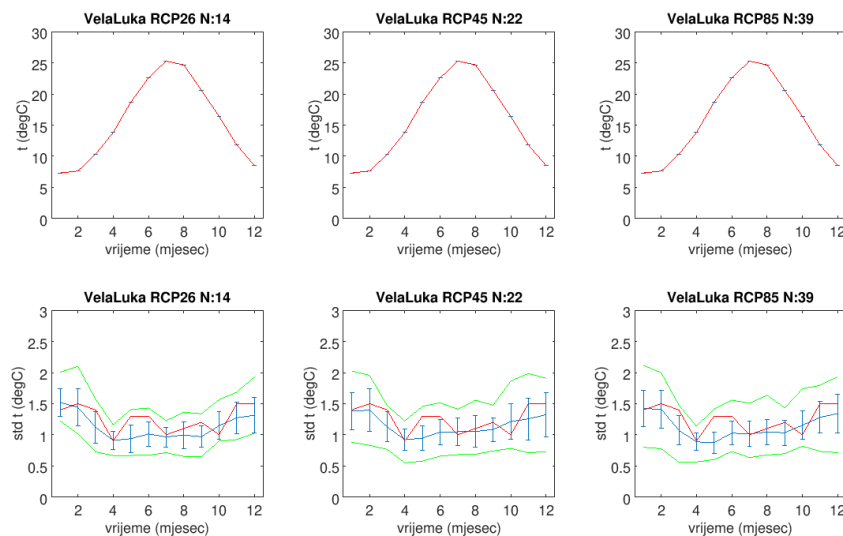
mjeseci rasap ansambla uključuje 0 °C, osim za razdoblje od travnja do srpnja gdje je i ranije detektirano podcjenjivanje simuliranih mjesečnih temperatura zraka u odnosu na mjerenja.

U slučaju srednje mjesečne oborine, statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka dobiva se primjenom relativnih korekcija (Slika 3.4-11). Srednjak i rasap ansambla relativnih korekcija (na osnovi pojedinačnih modelskih realizacija za svaki mjesec posebno) ukazuje na tri tipične situacije: (1) relativne korekcije su manje od 1,0 (bezdimenzionalna veličina) za siječanj, rujanj i listopad, mjesec za koji je na Slici 3-4-9 utvrđena tendencija precjenjivanja količine oborine, (2) relativne korekcije su izraženo veće od 1,0 za lipanj, srpanj i kolovoz a rasap ansambla relativnih korekcija je ističe se za iste mjesece, (3) za ostale mjesece je srednjak ansambla relativnih korekcija blizak 1,0 uz rasap istog ansambla reda veličine 0,5.

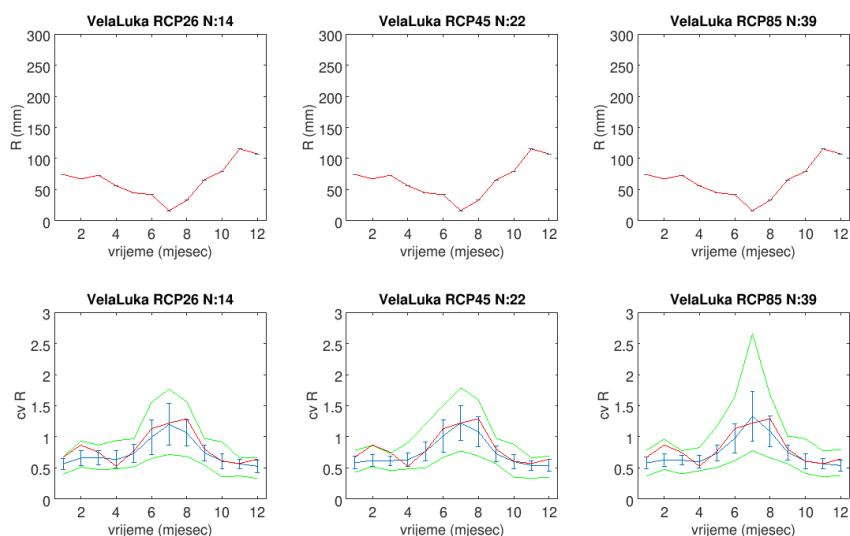


Slika 3.4-11. Godišnji hod relativne korekcije srednje mjesečne količine oborine (bezdimenzionalna veličina). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Vela Luka.

Kao dodatnu provjeru uspješnosti statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, Slika 3.4-12 i Slika 3.4-13 prikazuju srednju temperaturu zraka i količinu oborine te pripadnu varijabilnost izraženu standardnom devijacijom tj. koeficijentom varijacije nakon primjene aditivne tj. relativne korekcije. U slučaju srednje temperature zraka i količine oborine (prvi red Slike 3.4-12 i Slike 3.4-13) po definiciji korištene metode za statističko uklanjanje dobivamo očekivano izjednačavanje simuliranih i opaženih vrijednosti unutar razdoblja od 1981. do 2010. (ne i na razini pojedinih mjeseci unutar istog razdoblja) te je rasap ansambla 0 °C i 0 mm. Primijenjena metoda ne utječe na standardnu devijaciju simulirane temperature te koeficijent varijacije simulirane količine oborine što je potvrđeno usporedbama Slike 3.4-8 i Slike 3.4-12, tj. Slike 3.4-9 i Slike 3.4-13 (drugi red).



Slika 3.4-12 Isto kao Slika 3.4-8 za statistički obrađene RCM simulacije. Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Vela Luka.

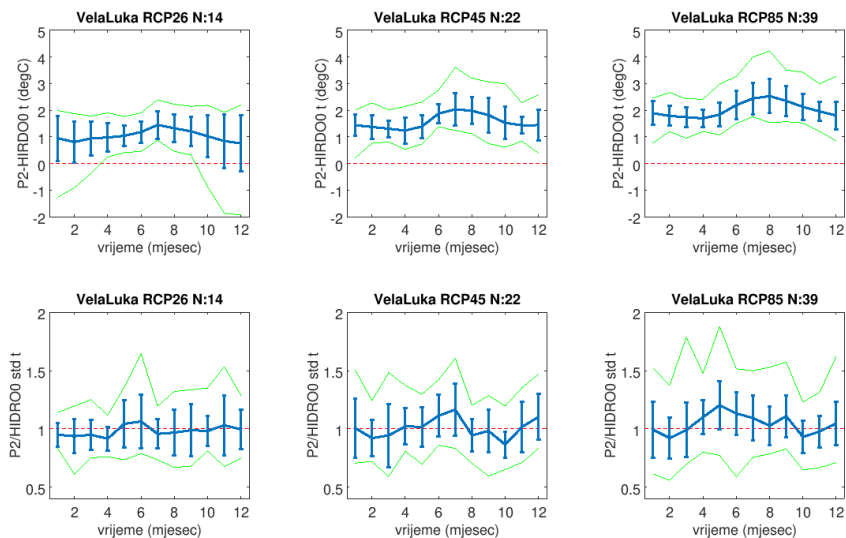


Slika 3.4-13. Isto kao **Slika 3.4-9** za statistički obrađene RCM simulacije. Razdoblje: 1981.-2010. Lokacija: Vela Luka.

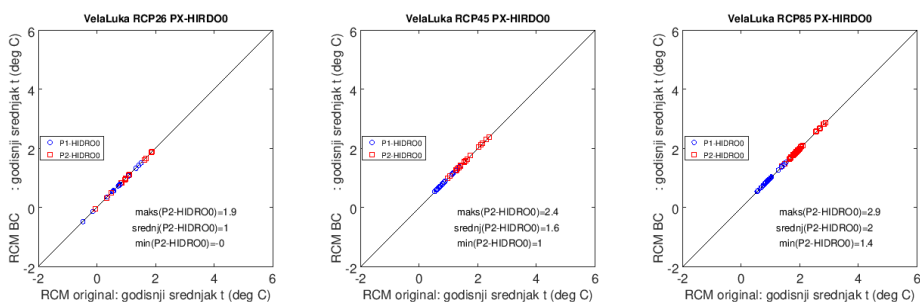
3.4.3.2. Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena

Regionalni klimatski modeli evaluirani u prethodnom poglavlju u odnosu na mjerenja DHMZ-a u razdoblju 1981.-2010. korišteni su za procjenu signala klimatskih promjena na srednjoj mjesečnoj razini. U slučaju temperature zraka, prikazujemo razlike između simulirane srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981.-2010. (**Slika 3.4-14, prvi red**) te omjere simuliranih standardnih devijacija između ista dva razdoblja (**Slika 3.4-14, drugi red**). U slučaju srednje temperature, nalazimo relativno jednolik porast temperature tijekom čitave godine (uz izraženije zagrijavanje u ljetnim mjesecima) uz porast nivoa zagrijavanja podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5. U slučaju scenarija RCP2.6, nalazimo mjesec kada raspon (zeleno) i/ili rasap (plavo) ansambla uključuje negativne vrijednosti, i to u hladnom dijelu godine. Ipak, ovo nije situacija u scenariju RCP4.5 i posebno izraženo u scenariju RCP8.5. U slučaju omjera standardne devijacije temperature zraka nalazimo jačanje tendencije porasta u toplom dijelu godine podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5, no rasap i raspon na razini ansambla uvijek sadrže vrijednost 1,0 tako da ovaj tip analize za dva promatrana razdoblja ne ukazuje na jasan signal na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija. Ovo potvrđuje potrebu korištenja ansambla klimatskih modela u istraživanjima klimatskih promjena u područjima utjecaja kako bi se izbjegla ovisnost o jednom scenariju i jednom ili manjem broju modelskih realizacija.

Osim usporedbe na srednjoj mjesečnoj skali, iste simulacije su analizirane i na srednjoj godišnjoj skali (**Slika 3.4-15**). **Slika 3.4-15** sadrži tri dodatna elementa: (1) usporedbu promjena prije (x-os) i poslije (y-os) statističkog uklanjanja sustavne pogreške, (2) usporedbu referentnog povijesnog razdoblja s razdobljem 2011.-2040. (plavo) i s razdobljem 2041.-2070. (crveno) te (3) prikaz svake pojedinačne modelirane realizacije. Rezultati pokazuju: (1) zagrijavanje na godišnjoj skali nalazimo u svim simulacijama usporedbom 2041.-2070. i 1981.-2010., (2) ovisno o primijenjenom scenariju srednje zagrijavanje raste u RCP2.6 od 1,0 °C (uz raspon 0,0 – 1,9 °C), u RCP4.5 1,6 °C (uz raspon 1,0 – 2,4 °C) te u RCP8.5 2,0 °C (uz raspon 1,4 – 2,9 °C), (3) jačanje signala simuliranjem vremenski udaljenijeg razdoblja izostaje u slučaju RCP2.6 te je umjereno i očito izraženo u RCP4.5 i RCP8.5, (4) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na signal klimatskih promjena, što je očekivano s obzirom na aditivnu korekciju u slučaju temperature zraka.

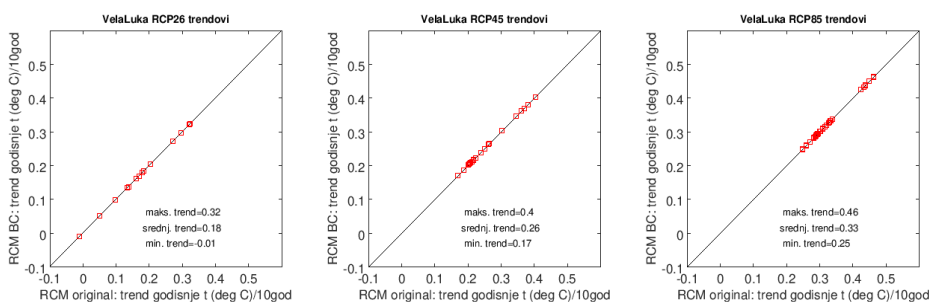


Slika 3.4-14. Razlika mjesečnih srednjaka temperature zraka između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih standardnih devijacija temperature zraka između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Vela Luka.



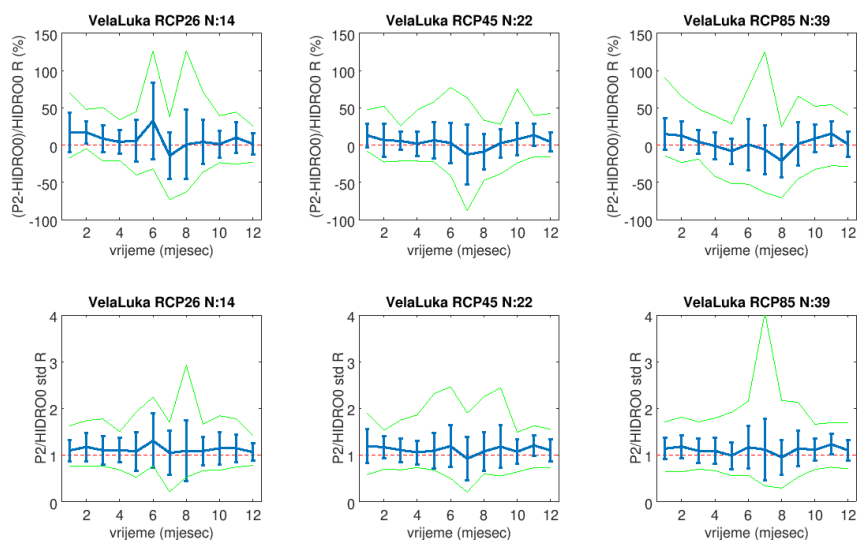
Slika 3.4-15. Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981.-2010.; Crveno: 2041.-2070. u odnosu na 1981.-2010. Analizirana veličina: srednja godišnja temperatura zraka (°C). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Vela Luka.

Osim promjena između dva tridesetogodišnja razdoblja, utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.4-16). Rezultati uključuju sljedeće: (1) zagrijavanje nalazimo u svim simulacijama, neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u RCP2.6 od 0,18 °C/10 god. (0,01 – 0,32 °C/10 god.), u RCP4.5 0,26 °C/10 god. (0,17 – 0,40 °C/10 god.) te u RCP8.5 0,33 °C/10 god. (0,25 – 0,46 °C/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na trend godišnjih temperatura zraka.



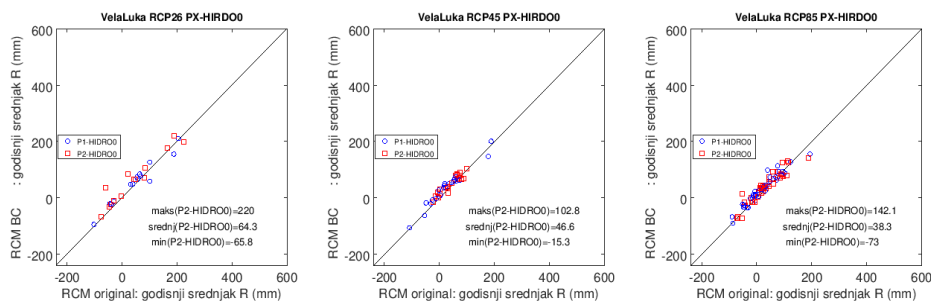
Slika 3.4-16. Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971.-2070. Analizirana veličina: trend godišnje temperature zraka (°C/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Vela Luka.

U slučaju količine oborine, prikazujemo relativne razlike između simulirane srednje mjesečne količine oborine u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981.-2010. (Slika 3.4-17, prvi red) te omjere simuliranih koeficijenata varijacije između ista dva razdoblja (Slika 3.4-17, drugi red). Rezultate za sva tri podskupa regionalnih klimatskih modela možemo sažeti: (1) srednjak ansambla pokazuje sklonost negativnim promjenama u pojedinim mjesecima (najčešće srpanj i kolovoz) toplog dijela godine te povećanju u hladnom dijelu godine u scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, dok se u scenariju RCP2.6 javljaju pozitivne relativne promjene u svim mjesecima osim za srpanj; (2) unatoč promjenama simuliranim na razini srednjaka ansambla, rasap i raspon ansambla gotovo uvijek su isti, tj. 0 %; (3) omjer budućih i povijesnih koeficijenata varijacije ne pokazuje tendenciju značajnih promjena.



Slika 3.4-17. Relativna razlika mjesečnih količina oborine između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih koeficijenata varijacije/standardne devijacije količine oborine između budućeg razdoblja 2041.-2070. i referentne klime 1981.-2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Vela Luka.

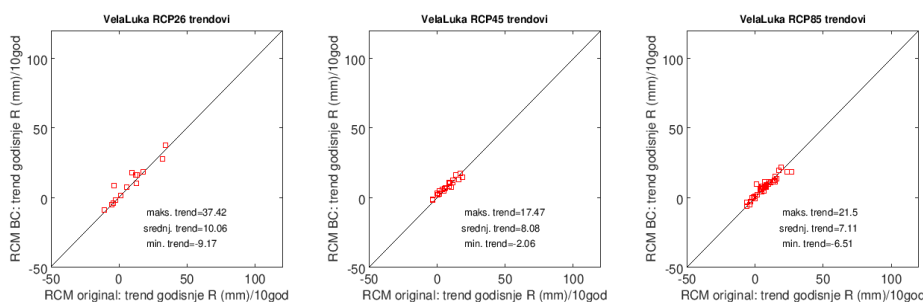
Analiza simulacija na srednjoj godišnjoj skali ukazuje na tendenciju blagog povećanja količine oborine u sva tri scenarija (Slika 3.4-18). Rezultati uključuju sljedeće: (1) ovisno o primijenjenom scenariju srednje povećanje oborine raste u RCP2.6 64,3 mm (uz raspon od -65,8 do 220,0 mm), u RCP4.5 46,6 mm (uz raspon od -15,3 do 102,8 mm) te u RCP8.5 38,3 mm (uz raspon od -73,0 do 142,1 mm), (2) ne postoji izražena razlika između signala relativnih promjena u dva buduća razdoblja u odnosu na 1981.-2010., (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka pokazuje veću osjetljivost nego u slučaju srednjih godišnjih temperatura no ograničeno utječe na signal klimatskih promjena.



Slika 3.4-18. Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011.-2040. u odnosu na 1981.-2010.; Crveno: 2041.-2070. u odnosu na 1981.-2010. Analizirana veličina: srednja godišnja količina oborine (mm). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Vela Luka.

Utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogreška analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.4-19). Rezultati uključuju sljedeće: (1) tendencija blagog porasta

srednje godišnje količine oborine neovisno o scenariju; (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u statistički obrađenim simulacijama u RCP2.6 za iznos 10,06 mm/10 god. (raspon od -9,17 do 37,42 mm/10 god.), u RCP4.5 za iznos 8,08 mm/10 god. (raspon od -2,06 do 17,47 mm/10 god.) te u RCP8.5 za iznos 7,11 mm/10 god. (raspon od -6,51 do 21,50 mm/10 god.); (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka utječe ograničeno na magnitudu trenda godišnjih količina oborine.



Slika 3.4-19. Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (*x-os*) te statistički obrađenim simulacijama (*y-os*) za razdoblje 1971.-2070. Analizirana veličina: trend godišnje količina oborine (mm/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Vela Luka.

3.5. Odabir klimatskih modela na pilot područjima za hidrološko modeliranje

Za potrebe hidrološkog modeliranja unutar projekta UKV unutar svakog od RCP scenarija odabrana su tri reprezentativna modela od dostupnih 14 u RCP2.6, 22 u RCP4.5 te 39 u RCP8.5. S obzirom na blag do umjeren signal promjena u hidrološkom ciklusu u usporedbama srednje klime od 1981. do 2010. te od 2041. do 2070., odnosno u analizama trendova kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070., odabir podskupa regionalnih klimatskih modela je vođen izborom modela s nižim, srednjim i izraženim nivoom zagrijavanja. Također, odabrani su modeli unutar svakog scenarija koji su reprezentativni za sve tri lokacije unutar projekta UKV.

Promjene temperature i oborine na godišnjoj razini za ansambl od tri izabrana modela su prikazane u **Tablici 3.5-1**.

Za scenarij RCP2.6, odabrani modeli su RCM3, RCM10 i RCM14:

- RCM3: ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r12i1p1_KNMI-RACMO22E_v1,
- RCM10: MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp26_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a,
- RCM14: MOHC-HadGEM2-ES_rcp26_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1.

Za scenarij RCP4.5, odabrani modeli su RCM7, RCM9 i RCM19:

- RCM7: ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1,
- RCM9: IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1,
- RCM19: MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1.

Za scenarij RCP8.5, odabrani modeli su RCM11, RCM9 i RCM22:

- RCM11: ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1,
- RCM9: ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_SMHI-RCA4_v1,
- RCM22: MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_MOHC-HadREM3-GA7-05_v1.

Tablica 3.5-1. Promjena srednje godišnje temperature zraka i ukupne godišnje količine oborine između budućeg i povijesnog razdoblja za srednjak i medijan ansambla, za tri scenarija koncentracija u Zadru, Cresu i Veloj Luci.

| | | RCP2.6 | | RCP4.5 | | RCP8.5 | |
|---------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | srednjak | medijan | srednjak | medijan | srednjak | medijan |
| Zadar | t (° C) | 1,2 | 1,1 | 1,6 | 1,6 | 2,1 | 2,0 |
| | R (mm) | 87,8 | 79,4 | 30,8 | 37,2 | 50,3 | 56,9 |
| Cres | t (° C) | 1,1 | 1,0 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,5 |
| | R (mm) | 131,6 | 102,0 | 36,0 | 54,7 | 75,2 | 80,2 |
| Korčula | t (° C) | 1,0 | 1,0 | 1,6 | 1,5 | 2,0 | 1,9 |
| | R (mm) | 64,3 | 65,8 | 46,6 | 45,5 | 38,3 | 36,8 |

4. HIDROLOŠKO PRAĆENJE I MODELIRANJE U ODNOSU NA KLIMATSKE PROMJENE

4.1. Metodologija

Manifestacije klimatskih promjena su već dugo prisutne i imaju svekoliki utjecaj na vodne sustave. Njihov je utjecaj, kao i očekivane daljnje promjene, posebno izražen na području Mediterana (Bolle, 2003, Lionello et al., 2006). Taj se utjecaj naročito manifestira na promjenama u vodnoj bilanci, kojima mogu biti ugroženi kako ekosustavi prirodnih vodnih sustava, tako i mogućnosti korištenja voda. Zbog toga se već dulji niz godina s jedne strane prate te negativne manifestacije klimatskih promjena, a s druge strane razvijaju alati za prognozu mogućih promjena u budućnosti kako bi se osigurali odgovarajući upravljački odgovori. Ti alati uglavnom su vezani uz klimatološka modeliranja o čemu je više rečeno u poglavlju 3 ovog dokumenta, ali na osnovu klimatskih modela razvijaju se i hidrološki modeli koji kvantificiraju utjecaje klimatskih promjena (prije svega promjena temperatura zraka i količina palih oborina) na hidrološki režim otjecanja.

Pri tome je upravo područje obuhvaćeno projektom UKV, odnosno njegova pilot područja, bilo jedan od najvažnijih poligona za razvoj i implementaciju metodologija hidroloških procjena utjecaja klimatskih promjena na vodne sustave u Hrvatskoj. Prve takve procjene, temeljene na kvantifikaciji hidroloških podataka već na temelju danih klimatoloških procjena i procjena porasta razine mora, provedene su u okviru projekta „Utjecaj predviđenih globalnih promjena klime na otočje Cres Lošinj“ (UN - Program za okoliš, Mediteranski akcioni plan i Ministarstvo graditeljstva i zaštite prirode, Odjel za Jadran, 1993). Rezultati tih istraživanja, osim u spomenutoj studiji, publicirani su u dokumentu Jeftića et al. (1996).

Nakon toga, u okviru projekta CCWaterS, napravljene su tri studije za pilot područja otoka Cresa i Korčule (Blatsko polje), kao i područje Bokanjac – Poličnik (Rubinić et al., 2011a, 2011b, 2011c), a primijenjena metodologija, detaljno obrazložena u radu Rubinić (2014) te Rubinić & Katalinić (2014). Uslijedilo je više novih europski istraživačkih projekata PROLINE-CE, CAMARO-d, DEEPWATER-CE, gdje se je nastavila primjena i daljnji razvoj spomenute metodologije, a objavljen je i niz radova s tematikom primjene te metodologije te procjena utjecaja klimatskih promjena na analizirane vodne resurse, kao npr. Terzić et al., 2015; Karleuša et al., 2018; Lukač Reberski et al., 2020; Patekar et al., 2021. Vezano uz utjecaje klimatskih promjena na vodne resurse u kršu, za spomenuti je još dva projekta na kojima su od strane Građevinskog fakulteta u Rijeci i partnerskih institucija realizirane hidrološke studije, i to vezano uz Plitvička jezera (PMF et al., 2021) i rijeku Krku (GF Rijeka, 2016), obje za potrebe nacionalnih parkova na tim prostorima, gdje je po prvi puta provedeno i modeliranje mjesečnih dotoka, kao i mjesečnih temperatura vode.

Za spomenuti je i EU projekt Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema nacрта Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (<https://strategija-prilagodbe-klimatskim-promjenama prilagodba-klimi.hr/>) u okviru koga su provedena vrlo detaljna klimatološka modeliranja klimatskih promjena, kao i procjene njihova utjecaja na vodne sustave. To je bio temelj za donošenje Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2020). U tim je dokumentima, uz uobičajena upozorenja na smanjenja raspoloživosti vodnih zaliha u budućnosti i podizanja razine mora, upozoreno i na rizike od intenziviranja pojava velikih voda. Takva ekstremna stanja, iako kratkotrajna, mogu utjecati i na ograničavanje mogućnosti korištenja vodnih resursa za vodoopskrbu zbog nagle promjene/pogoršanja kakvoće. Ona se ponajprije ogleda u pojavama ekstremnih mutnoća, a s njom u veži i drugih kemijskih i mikrobioloških parametara. S tim u svezi su u okviru izrađene UKV Studije utjecaja klimatskih promjena na zdravlje prikazani rezultati modeliranja pojava velikih mutnoća na izvoru Rakonek u Istri, dobiveni primjenom metoda strojnog učenja, iz razloga što na UKV pilot područjima nije prisutan problem tako ekstremnih mutnoća.

4.1.1. Metodologija primjene daljinskih termalnih snimaka u hidrološkim praćenjima istjecanja podzemnih voda

Iako je glavna obrada, pa i prikaz korištene metodologije, vezana uz procjene elemenata vodne bilance u uvjetima različitih scenarija klimatskih promjena, same klimatske promjene traže i razvoj metodologija za ocjenu stanja vodnih resursa kako bi ih se moglo u budućnosti primjereno štititi i koristiti. Naime, lako dostupnih vodnih zaliha na krškim izvorima ili vodonosnicima, pogotovo u priobalju, čija je dinamika promjena elemenata vodne bilance moguće pratiti uobičajenim hidrometrijskim ili hidrogeološkim postupcima, praktički više i nema. Stoga je nužno osigurati dodatna saznanja o elementima vodne bilance i za neke od takvih, uvjetno rečeno problematičnih vodnih resursa. Među njima su svakako i vodni resursi, odnosno dijelovi priobalnih vodonosnika koji su u neposrednom kontaktu s morem, često i sa širom zonom miješanja slane i slatke vode. Zbog tih razloga u okviru aktivnosti Građevinskog fakulteta u Rijeci na realizaciji UKV projekta nabavljena je autonomna letjelica s termalnom infracrvenom kamerom, te je korištena u razvoju metodologije za kartiranje istjecanja podzemnih voda u more koristeći metode termalnih daljinskih snimaka. Detekcija priobalnih izvora temelji se na analizi temperaturnih razlika površine i izdvajanja lokacija značajnijih temperaturnih anomalija. Metodološki pristup opisan je u [poglavlju 2.2.2](#) ovog dokumenta.

Za potrebe procjene količine istjecanja podzemnih voda priobalnih krških izvora nepoznate izdašnosti na osnovi usporedbe njihovih termalnih odraza u moru i termalnih odraza izvora poznate izdašnosti, razvijena je metodologija publicirana u radu [Horvat & Rubinić \(2021\)](#). Ona je primijenjena na izvorima na Opatijskom području gdje je istom daljinskom snimkom bilo moguće obuhvatiti i izvore poznate izdašnosti i izvore nepoznate izdašnosti kod kojih se uobičajenim hidrometrijskim postupcima ta izdašnost nije mogla izmjeriti. Spomenuta metodologija nije se mogla neposredno implementirati na odabranim pilot područjima u svrhu ocjene količine istjecanja voda priobalnih vodonosnika u more zbog nepostojanja mogućnosti usporednog praćenja istjecanja izvora na kome je izdašnost moguće točno mjeriti klasičnim hidrometrijskim postupcima. No, razvijeni postupci za ocjenu prostornog opsega istjecanja u more, kao i kvantifikacije istjecanja predstavljaju važne elemente praćenja vodne bilance priobalnih izvora i ocjene njihova vodnog potencijala.

4.1.2. Metodologija hidroloških modeliranja

U sklopu predmetnog dokumenta provedena su modeliranja vodne bilance odabranih pilot područja, odnosno njihovih srednjih godišnjih protoka u uvjetima dosadašnjeg stanja (1971.-2021.), kao i u uvjetima različitih scenarija klimatskih promjena u budućnosti – zaključno s 2070. godinom. Kako na odabranim pilot područjima u okviru UKV projekta ne postoje nizovi podataka s rezultatima kvantificiranih unutargodišnjih hidroloških praćenja istjecanja podzemnih voda, odabrano je vrijeme diskretizacije od godine dana. Pri tome su korišteni standardni bilančni modeli vezani između klimatskih prilika (oborina i temperatura) i efektivnih oborina – dijela vodne bilance palih oborina na sliv koje su se transformirale u površinsko ili podzemno otjecanja.

Uz to, provedena su i modeliranja promjene temperatura voda kao vrlo važne komponente vodnog režima Vranskog jezera na otoku Cresu, kao i modeliranja pojava ekstremnih stanja mutnoća, sadržanih u UKV Studiji utjecaja klimatskih promjena na zdravlje. U oba slučaja korišteni su modeli strojnog učenja, odnosno primjene umjetne inteligencije, koji su se pokazali u vrlo pogodnim za modeliranje procesa u krškim vodama koje karakteriziraju izrazito nelinearni međudodnosi između ulaznih klimatskih prilika i otjecanja. Pri tome su primijenjene dvije tehnike modeliranja – neuronske mreže i regresijska stabla odlučivanja. Pomoću njih bilo je moguće opisati i protumačiti stanje hidroloških i temperaturnih prilika u vodnom sustavu te provesti prediktivne procjene njihova ponašanja u izmijenjenim klimatskim uvjetima.

U oba pristupa osnova je strojno učenje na povijesno zabilježenim podacima, odnosno dijelu podataka koji se naziva testni skup podataka. Na temelju njega se induktivnim učenjem, uz pomoć algoritma za učenje, stvara model. Taj se model testira na testnom skupu od n-primjera, odnosno povijesno zabilježenim podacima koji nisu korišteni pri treniranju modela, duljine obično 20 % od testnoga niza podataka. Ti povijesno zabilježeni podaci uspoređuju se s metodama strojnoga učenja prognoziranim vrijednostima. Kao mjerilo uspješnosti modela uzimaju se različite mjere za ocjenu pogreške – koeficijent korelacije, vrijednosti srednje apsolutne pogreške, relativna apsolutna pogreška...

U ovome slučaju je za modeliranje korišten WEKA računarski alat za strojno učenje (<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>). Radi se o računarskom alatu zasnovanom na objektno orijentiranom JAVA programskom jeziku. On omogućava više različitih pristupa strojnom učenju i sadrži gotovo sve najvažnije algoritme strojnoga učenja (Hall et al., 2009; Witten & Frank, 2000). Među ostalim, taj programski alat sadrži 76 klasifikacijskih/regresijskih algoritama i 8 algoritama za segmentiranje.

Za procjenu dotoka odabranih slivova na odabranim pilot područjima u klimatskim prilikama/promjenama izmijenjenim klimatskim uvjetima korišten je jedan uprošteni modelski pristup koji je primjeren raspoloživim klimatološkim i hidrološkim podlogama. Temelji se na usporedbi mjerenih podataka o bilanci protoka koja istječe na izvorima i podataka o bilanci efektivnih oborina koja se infiltrira u sliv, pri čemu se koriste podaci o oborinama i temperaturama u slivu. Pri ocjeni bilance tih efektivnih oborina na području hrvatskog krša najčešće se koriste empirijski modeli Turca (1954) i Langbeina (1962), a koji su modificirani i razvijeni za primjenu u GIS okruženju (Horvat & Rubinić, 2006). Radi se o modelima pomoću kojih je, na temelju prostorne procjene količine palih godišnjih oborina i prosječnih godišnjih temperatura zraka na analiziranom slivu, uz hidrogeološkim metodama određenu površinu sliva, moguće odrediti prostornu raspodjelu efektivne godišnje oborine, odnosno dio palih oborina koje su infiltrirane u sliv krškog vodonosnika.

Odabir mjerodavnog modela provodi se na temelju usporedbe mjerenih i procijenjenih vrijednosti srednjih godišnjih dotoka, a u nedostatku mjerenih podataka o protocima vodotoka i izvora i na temelju ekspertne procjene temeljene na regionalnim sagledavanjima međuodnosa oborina, temperatura zraka i otjecanja, kao i regionalnih formula koji daju procjene srednjih godišnjih otjecajnih koeficijenata. U danom slučaju, na temelju sagledavanja provedenih u projektu CCWaterS, za procjenu otjecanja na pilot području Vranskog jezera odabrana je metoda Langbeina, za Blatsko polje na Korčuli metoda Turca, a za pilot područje Bokanjac – Poličnik njihova kombinacija, odnosno osrednjene vrijednosti rezultata iz te dvije metode.

Prilikom ocjene prostornog rasporeda protoka za obje su metode potrebni podaci o prostornom rasporedu oborina i temperatura zraka za odabrano polazno 30-godišnje razdoblje koje karakterizira sadašnju klimu (1981. - 2020.), kao i srednjih godišnjih temperatura zraka i palih oborina zabilježenih na referentnim klimatološkim postajama svakog pilot područja (Zadar, Cres i Vela Luka) tijekom povijesnog razdoblja 1971.-2021. Naravno potrebni su i podaci o generiranim vrijednostima godišnjih temperatura zraka i oborina prema različitim klimatskim scenarijima i odabranim modelima unutar tih scenarija za razdoblje 1971.-2070. Sve su te podloge i podaci preuzeti iz rezultata klimatoloških sagledavanja koje je u okviru UKV projekta provela ekipa iz DHMZ-a, a sumarni rezultati dani u poglavlju 3 ovog dokumenta. Prilikom provedenih modeliranja korišteni su i međuodnosi između točkastih podataka s klimatoloških postaja i prostorno distribuiranih podataka o oborinama, temperaturama zraka i protocima sa sliva.

Za provedbu hidrološkog modeliranja u okviru predmetnog UKV projekta su unutar svakog od RCP scenarija odabrana po 3 reprezentativna modela (od 14 analiziranih vezano uz RCP2.6 scenarij, 22 uz RCP4.5 scenarij te 49 vezano uz RCP8.5 scenarij). Pri tome se je vodilo računa da su odabrani modeli reprezentativni za sva tri analizirana pilot područja. Slijedi prikaz odabranih modela i njihovih punih naziva za koje su u okviru prikaza rezultata hidroloških sagledavanja korištene kratice njihova naziva – numerički broj modela.

Za scenarij RCP2.6, odabrani su modeli:

RCM3: ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r12i1p1_KNMI-RACMO22E_v1,
RCM10: MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp26_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a,
RCM14: MOHC-HadGEM2-ES_rcp26_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1.

Za scenarij RCP4.5 odabrani su modeli:

RCM7: ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1,
RCM9: IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1,
RCM19: MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1.

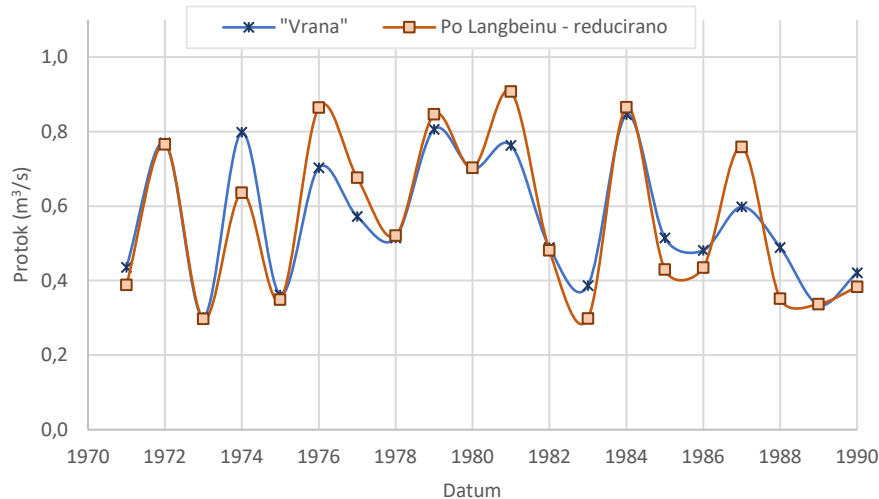
Za scenarij RCP8.5 odabrani su modeli:

RCM11: ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1,
RCM9: ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_SMHI-RCA4_v1,
RCM22: MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_MOHC-HadREM3-GA7-05_v1.

Analizirani su nizovi povijesnih podataka o godišnjim količinama oborina i srednjim godišnjim temperaturama zraka zabilježenih na spomenutim referentnim klimatološkim postajama (1971.-2021.), kao i generirani nizovi podataka po spomenutim modelima za razdoblje 1971.-2070. Kako bi se testiralo da li su generirani nizovi podataka o protocima statistički slični nizovima podataka o protocima koji su određeni na temelju stvarno zabilježenih povijesnih nizova podataka o oborinama i temperaturama, provedeno je testiranje njihove homogenosti za povijesno razdoblje 1971.-2021. To je testiranje provedeno neparametarskim Wilcoxonovim testom (Wilcoxon, 1945). U svim slučajevima utvrđena je homogenost između povijesnih nizova podataka o protocima dobivenih na temelju mjerenih vrijednosti temperatura zraka i oborina i podataka dobivenim korištenim modelima generiranih vrijednosti godišnjih temperatura zraka i oborina. Stoga su radi usporedbe odabranih statističkih pokazatelja (srednji i ekstremni zabilježeni srednji godišnji protoci tijekom analiziranog razdoblja), kao i procjene trendova hoda srednjih godišnjih protoka u budućnosti, modelima generirani podaci za povijesno razdoblje 1971.-2021. zamijenjeni povijesnim nizovima podataka o protocima dobivenim na osnovu mjerenih podataka.

Homogenost nizova podataka o protocima ispitivana je na način da su uspoređeni povijesni podaci (1971.-2021.) i generirani nizovi podataka po različitim korištenim modelima (2022.-2070.). U pravilu, nehomogenost su pokazali nizovi s najizraženijim trendovima hoda protoka u budućnosti, te su u okviru prikaza odabranih rezultata modeliranja izdvojeni nizovi koji imaju najveći pozitivan i negativan trend, odnosno imaju najizraženije procjene porasta ili sniženja srednjih godišnjih dotoka. Naime, u više klimatskih scenarija/korištenih modela, uz u pravilu očekivani porast temperatura zraka, neki modeli daju i očekivani porast godišnjih količina oborina, što pojedinih godina rezultira i povećane vrijednosti srednjih godišnjih protoka.

Prilikom provedenih modeliranja, na pilot području Vranskoj jezera na otoku Cresu razdvojena je bilanca voda koje potječu od oborina palih na površinu samog jezera kao i površinu pripadajućeg sliva. Kod Vranskog jezera na Cresu provedena je i usporedba rezultata provedenih modeliranja u ovom radu (rezultati po metodi Langbeina) s rezultatima ranijih detaljnijih modelskih preispitivanja simulacijskim modelom Vrana (Ožanić & Rubinić, 1994), pri čemu je provedena njihova normalizacija na 20-godišnji srednjak (1971. - 1990.). Ti su rezultati pokazali vrlo dobru podudarnost hoda protoka dobivenih potpuno različitim metodama (Slika 4.1-1).



Slika 4.1-1. Usporedba rezultata proračunatih protoka povijesnog niza (1971.-90.) po metodi Langbeina i po modelu Vrana dobivenih u radu Ožanić & Rubinić (1994)

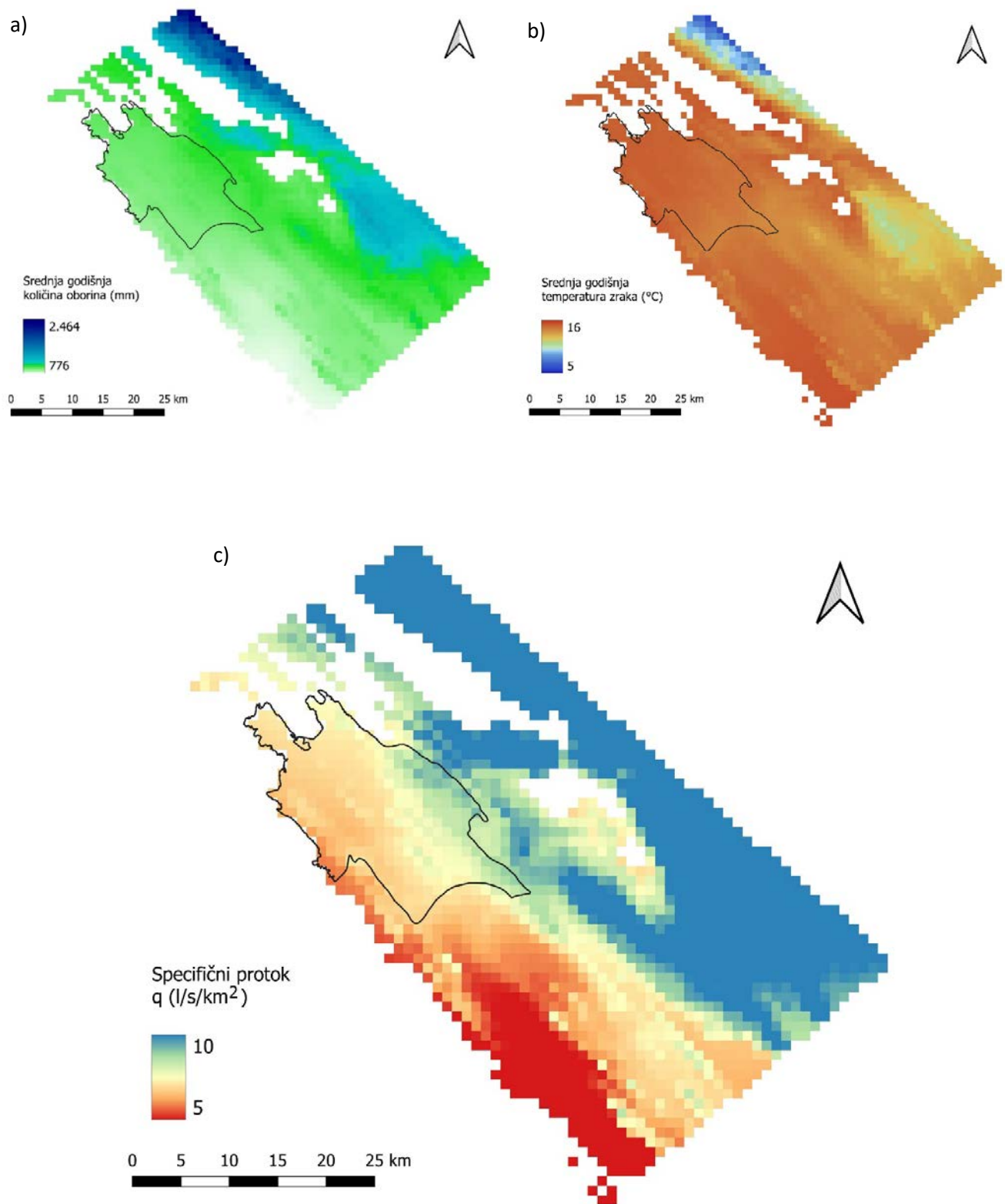
4.2. Modeliranje bilančnih pokazatelja

4.2.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik

Na temelju prostorne raspodjele palih oborina i temperature zraka za razdoblje 1981.-2010., napravljena je prostorna raspodjela specifičnih otjecanja u slivu pilot područja Bokanjac – Poličnik (površine 301,71 km²) i to kao kombinacija/osrednjenih vrijednosti po metodi Turca i Langbeina (Slika 4.2-1). Tablični prikaz rezultata spomenutih prostornih obrada dan je u tablici 4.2-1.

Na temelju provedenih bilanciranja, sukladno metodologiji opisanoj u poglavlju 4.1.2 provedena su modeliranja nizova povijesnih podataka o srednjim godišnjim protocima, kao i protoka prema različitim klimatskim scenarijima i modelima za razdoblje 1971.-2070. (Slika 4.2-2). Za tako generirane nizove protoka, kombinirane i s povijesnim nizom podataka, provedene su analize homogenosti, trendova, karakterističnih pokazatelja za odabrana karakteristična razdoblja, a sumarni rezultati su sadržani u tablici 4.2-2. Vidljivo je da je utvrđena homogenost između povijesnog niza podataka o protocima i svih povijesnih generiranih nizova prema odabranim klimatskim scenarijima i modelima. Formirani su i novi sintetički nizovi temeljeni na kombinaciji povijesnog niza (1971.-2021.) i generiranih nizova prema danim klimatskim scenarijima i modelima. Kod dijela generiranih nizova utvrđena je nehomogenost između podataka budućeg i povijesnog niza zbog naglašenijih razlika, a koja su uvjetovane promjenama uvjetovanim klimatskim utjecajima u razdoblju nakon 2021. godine.

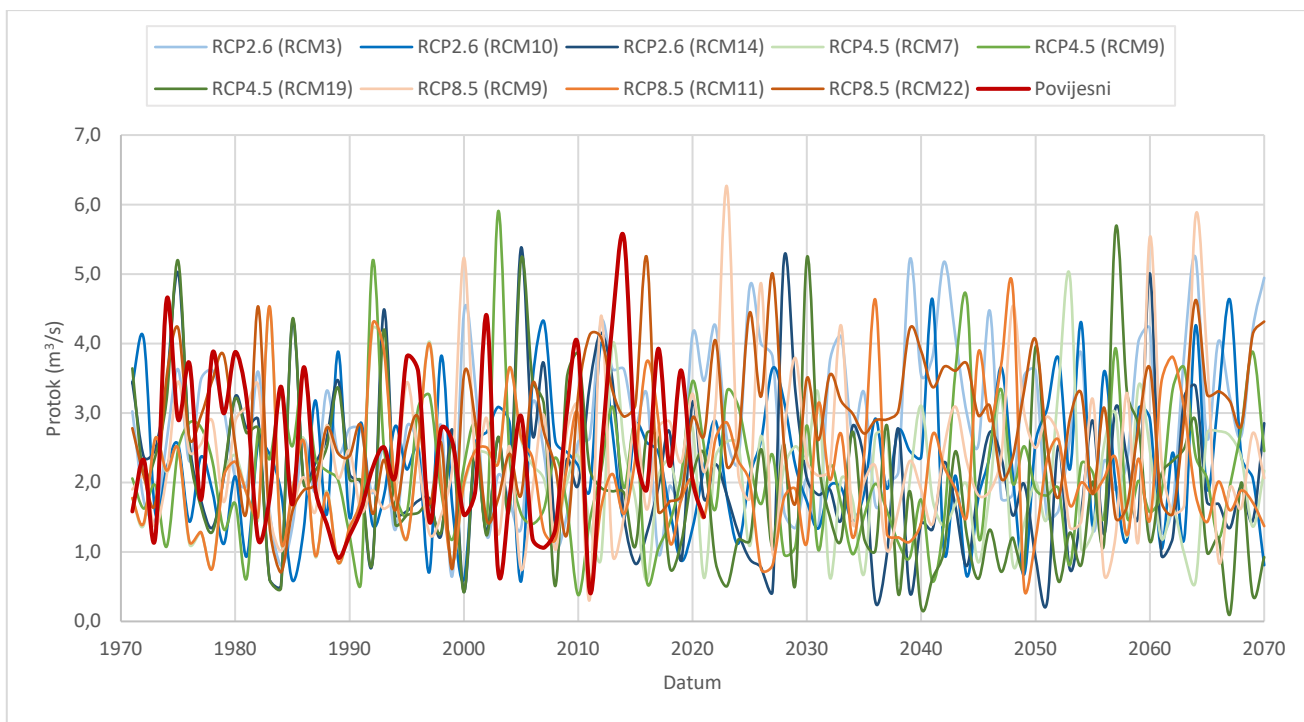
U tablici 4.2-2 su prikazani i rezultati usporedbe karakterističnih pokazatelja za dva odabrana 30-godišnja referentna razdoblja za ocjenu utjecaja klimatskih promjena na vodnu bilancu srednjih godišnjih protoka – za sadašnje klimatske/hidrološke prilike (razdoblje 1981.- 2010.) i buduće razdoblje (2041.-2070). Utvrđeno je da se najveće razlike (uglavnom smanjenje) između budućih i sadašnjih hidroloških prilika u pogledu srednjih godišnjih protoka očekuju kod modela iz scenarija RCP4.5, razlog čega je okolnost da se pri ostvarenju prema temperaturnim međuodnosima kritičnijeg klimatskog scenarija RCP8.5, očekuju periodička javljanja i iznimno vodnih godina. No, u svim klimatskim scenarijima dio odabranih modela pokazuje da se u budućnosti očekuju i naglašenije pojave sušnih razdoblja.



Slika 4.2-1. Prostorna raspodjela srednjih vrijednosti a) godišnjih količina oborina, b) srednjih godišnjih temperatura zraka i c) specifičnih protoka na pilot području Poličnik – Bokanjac tijekom razdoblja 1981-2010.

Tablica 4.2-1. Prikaz karakterističnih pokazatelja prostorne raspodjele srednjih godišnjih oborina, temperatura zraka te specifičnih protoka za pilot područje Bokanjac – Poličnik (1981.-2010.)

| Pokazatelj | Oborine (mm) | Temperature (°C) | Spec. protoci - po Langbeinu (l/s/km ²) | Spec. protoci - po Turcu (l/s/km ²) | Spec. protoci - osrednjeno Lang-Turc (l/s/km ²) |
|-------------------|--------------|------------------|---|---|---|
| MIN | 873,3 | 13,9 | 3,88 | 7,82 | 5,85 |
| MAX | 1017,2 | 15,3 | 7,37 | 11,63 | 9,5 |
| SR | 935 | 14,8 | 5,24 | 9,51 | 7,38 |
| MEDIJAN | 930,2 | 14,9 | 5,01 | 9,3 | 7,15 |
| 1. KVARTIL (25 %) | 915,2 | 14,6 | 4,78 | 8,98 | 6,89 |
| 3. KVARTIL (75 %) | 949,8 | 15,1 | 5,55 | 9,9 | 7,71 |
| STDEV | 28 | 0,32 | 0,7 | 0,77 | 0,73 |
| RASPON | 143,9 | 1,37 | 3,49 | 3,82 | 3,65 |

**Slika 4.2-2.** Generirani nizovi podataka o srednjim godišnjim protocima prema različitim klimatskim scenarijima i modelima na pilot području Bokanjac – Poličnik za razdoblje 1971.-2070.

Tablica 4.2-2. Karakteristični pokazatelji generiranih nizova podataka o srednjim godišnjim protocima na pilot području Bokanjac – Poličnik (1971.-2070.) prema različitim klimatskim scenarijima i modelima

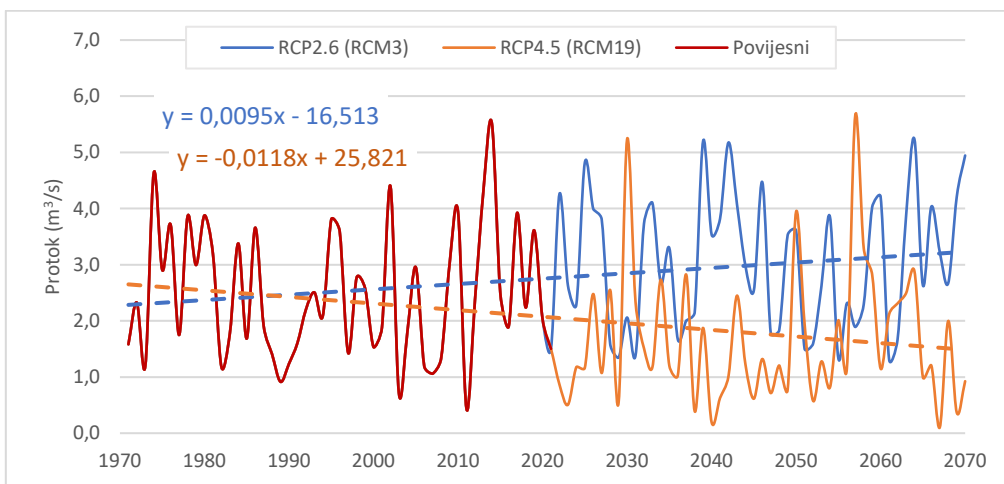
| Klimatski scenarij | Povijesni niz | RCP2.6 | | | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|---|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Model | | RCM3 | RCM10 | RCM14 | RCM7 | RCM9 | RCM19 | RCM9 | RCM11 | RCM22 |
| Razdoblje | 1971. - 2021. | | | | | | | | | |
| Homogenost u odnosu na povijesni | | H | H | H | H | H | H | H | H | H |
| SR (m³s⁻¹/god) | 2,47 | 2,46 | 2,23 | 2,36 | 2,06 | 2,16 | 2,28 | 2,24 | 2,08 | 2,55 |
| Max (m³s⁻¹/god) | 5,52 | 4,44 | 4,32 | 5,38 | 4,52 | 5,90 | 5,21 | 5,23 | 4,54 | 5,24 |
| Min (m³s⁻¹/god) | 0,433 | 0,665 | 0,575 | 0,426 | 0,591 | 0,379 | 0,419 | 0,312 | 0,607 | 0,705 |
| Razdoblje | 1971. - 2070. | | | | | | | | | |
| Trend (m³s⁻¹/god) | | 0,0102 | 0,0029 | -0,0074 | -0,0003 | 0,0002 | -0,0106 | 0,0029 | 0,0016 | 0,0076 |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 2,75 | 2,29 | 2,13 | 2,04 | 2,13 | 1,97 | 2,37 | 2,11 | 2,80 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 5,23 | 4,63 | 5,38 | 4,97 | 5,90 | 5,66 | 6,26 | 4,81 | 5,24 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,665 | 0,575 | 0,266 | 0,552 | 0,379 | 0,103 | 0,312 | 0,489 | 0,705 |
| Razdoblje | Kombinacija povijesni niz 1971. - 2021. te 2022. - 2070. | | | | | | | | | |
| Trend (m³s⁻¹/god) | | 0,0095 | -0,0009 | -0,0076 | -0,0066 | -0,0039 | -0,0118 | -0,0007 | -0,0048 | 0,0084 |
| Homogenost povijesni 1971. - 2021. u odnosu na 2022. - 2070. | | NeH | H | NeH | H | H | NeH | H | H | NeH |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 2,76 | 2,41 | 2,19 | 2,25 | 2,29 | 2,07 | 2,48 | 2,31 | 2,76 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 5,52 | 5,52 | 5,52 | 5,52 | 5,52 | 5,66 | 6,26 | 5,52 | 5,52 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,433 | 0,433 | 0,266 | 0,433 | 0,433 | 0,103 | 0,433 | 0,433 | 0,433 |
| Razdoblje | 1981. - 2010. | | | | | | | | | |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 2,20 | 2,23 | 2,25 | 2,21 | 2,26 | 2,27 | 2,20 | 2,22 | 2,23 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 4,44 | 4,32 | 5,38 | 4,52 | 5,90 | 5,21 | 5,23 | 4,54 | 4,53 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,665 | 0,575 | 0,426 | 0,846 | 0,379 | 0,419 | 0,748 | 0,848 | 0,705 |
| Razdoblje | 2041. - 2070. | | | | | | | | | |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 3,11 | 2,43 | 1,95 | 2,00 | 2,29 | 1,67 | 2,44 | 2,24 | 2,97 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 5,23 | 4,63 | 5,01 | 4,97 | 4,64 | 5,66 | 5,84 | 4,81 | 4,63 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 1,32 | 0,648 | 0,266 | 0,574 | 0,573 | 0,103 | 0,681 | 0,489 | 1,49 |
| | Odnos 2041. - 2070. / 1981. - 2010. | | | | | | | | | |
| SR (%) | | 29% | 8% | -15% | -10% | 2% | -36% | 10% | 1% | 25% |
| Max (%) | | 15% | 7% | -7% | 9% | -27% | 8% | 10% | 6% | 2% |
| Min (%) | | 50% | 11% | -60% | -47% | 34% | -307% | -10% | -73% | 53% |

* H = homogen, NeH = nehomogen

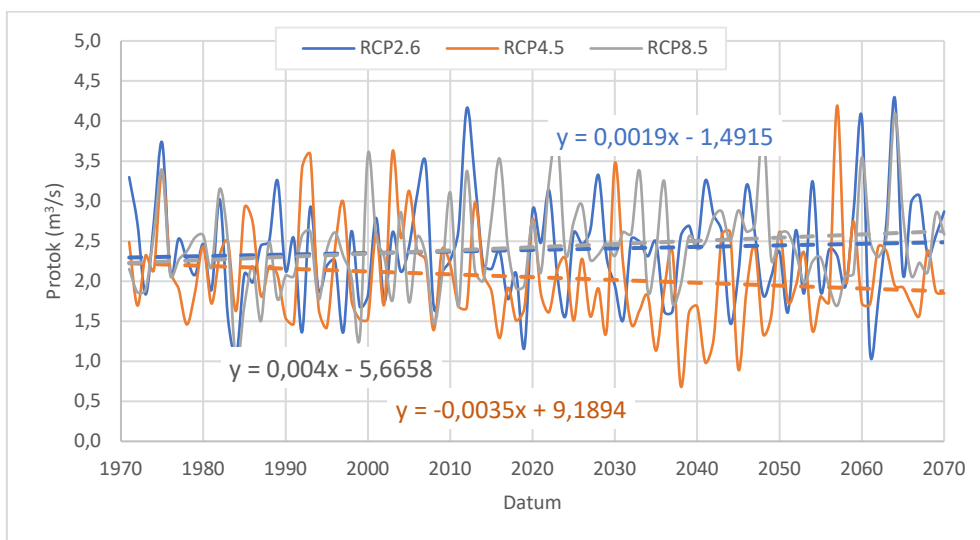
Grafički prikaz hoda dvaju, prema iskazanim trendovima (pozitivnom i negativnom), najizrazitijih nizova modeliranih podataka o protocima nastavljenih na povijesni niz podataka dan je na [slici 4.2-3](#). Vidljivo je da se potkraj analiziranog razdoblja u budućnosti mogu, ovisno o klimatskom scenariju i modelu, očekivati vrlo različiti protoci – u rasponu od njihova značajnijeg porasta do njihovog naglašenijeg smanjivanja, posebno pri kraju toga razdoblja.

Na [slici 4.2-4](#) dan je prikaz osrednjih vrijednosti srednjih godišnjih protoka prema trima analiziranim klimatskim scenarijima iz kojih se vidi da je scenarij RCP4.5 kritičniji po bilanci srednjih godišnjih protoka iz razloga što je kod njega iskazan trend opadanja protoka. No, najniže vrijednosti se očekuju ne na kraju analiziranog budućeg razdoblja, nego na njegovom početku. Za napomenuti je da se radi o srednjim godišnjim protocima i da na korištenje voda utječe ne samo globalna raspoloživost voda, nego i unutar godišnja raspodjela protoka, no koji element, zbog nedostatka mjerenih podataka o istjecanjima podzemnih voda na analiziranom prostoru, nije

mogao kvantificirati. Stoga unatoč okolnosti da se po nekim klimatskim scenarijima i modelima u budućnosti očekuje čak i povećanje srednjih godišnjih protoka, preporuka je da se radi sigurnosti ipak više vodi računa o kritičnijim prognoziranim vrijednostima protoka.



Slika 4.2-3. Prikaz izdvojenih nizova podataka srednjih godišnjih protoka za dva granična slučaja iskazanih trendova odabranih scenarija i modela na pilot području Bokanjac – Poličnik (1971.-2070.)



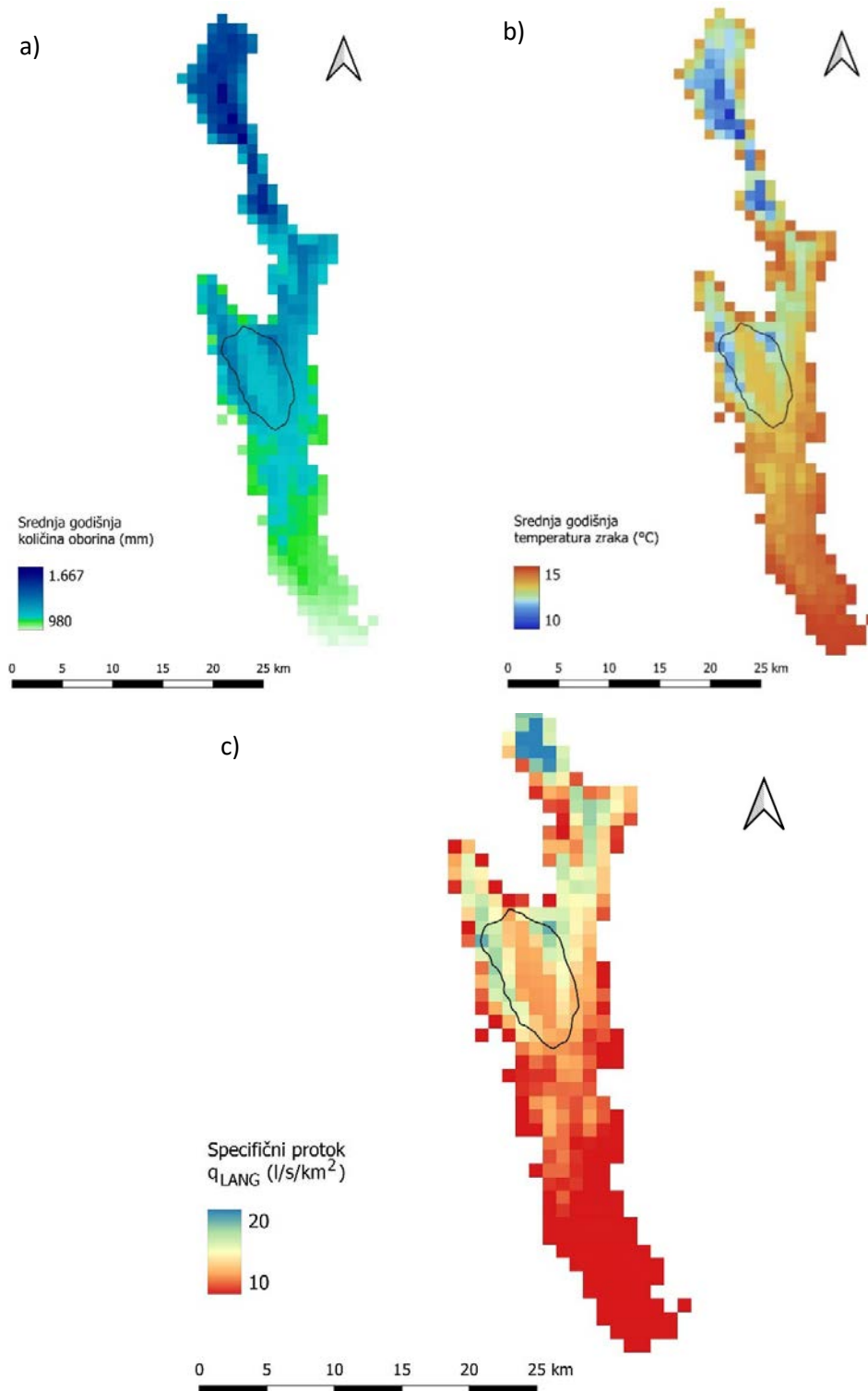
Slika 4.2-4. Prikaz osrednjenih nizova podataka srednjih godišnjih protoka za odabrane klimatske scenarije na pilot području Bokanjac – Poličnik (1971.-2070.)

Generalno, dobivene procjene u sklopu UKV projekta za zadnjih 30 godina pri kraju prognostičkog razdoblja do 2070. godine, govore da bi se, u slučaju ostvarenja modela koji daju najkritičnije hidrološke procjene srednjih godišnjih protoka, one mogle u prosjeku smanjiti 10-35% u odnosu na razdoblje 1981.-2010., s time da su vjerojatnije niži odnosi smanjenja jer dobar dio modela pokazuje i moguće povećanje sr. god. protoka. Te su procjene gotovo dvostruko blaže nego li procjene dane u okviru prethodnog projekta CCWaterS (Rubinić et al., 2011a) no gdje je kao referentno razdoblje buduće klime uzeto zadnjih 30 godina u 21. stoljeću.

4.2.2. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu

Na temelju prostorne raspodjele palih oborina i temperature zraka za razdoblje 1981.-2010., napravljena je prostorna raspodjela specifičnih otjecanja u slivu pilot područja Vransko jezero na otoku Cresu (površine 44,37

km²) i to po metodi Langbeina (Slika 4.2-5). Tablični prikaz rezultata spomenutih prostornih obrada dan je u tablici 4.2-3.

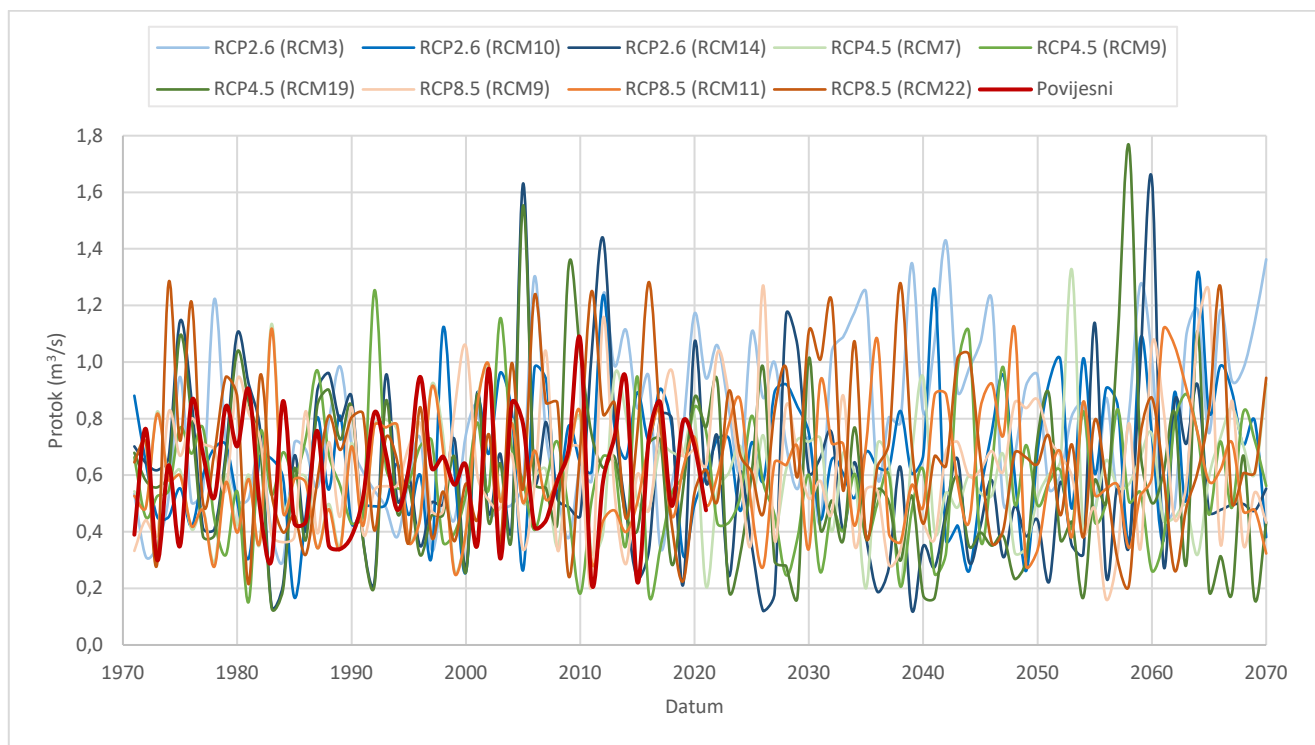


Slika 4.2-5. Prostorna raspodjela srednjih vrijednosti a) godišnjih količina oborina, b) srednjih godišnjih temperatura zraka i c) specifičnih protoka na pilot području sliva Vranskog jezera na otoku Cresu tijekom razdoblja 1981.-2010.

Tablica 4.2-3. Prikaz karakterističnih pokazatelja prostorne raspodjele srednjih godišnjih oborina, temperatura zraka te specifičnih protoka za pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu (1981.-2010.)

| Pokazatelj | Oborine (mm) | Temperature (°C) | Spec. protoci - po Langbeinu (l/s/km ²) | Spec. protoci - po Turcu (l/s/km ²) | Spec. protoci - osrednjeno Lang-Turc (l/s/km ²) |
|-------------------|--------------|------------------|---|---|---|
| MIN | 1135,5 | 11,7 | 12,9 | 15,7 | 13,9 |
| MAX | 1350,1 | 13,5 | 18,9 | 23,6 | 21,2 |
| SR | 1197,8 | 13,0 | 14,2 | 18,0 | 16,0 |
| MEDIJAN | 1177,5 | 13,1 | 13,6 | 17,2 | 15,4 |
| 1. KVARTIL (25 %) | 1145,2 | 12,5 | 12,4 | 16,0 | 14,2 |
| 3. KVARTIL (75 %) | 1240,7 | 13,5 | 15,7 | 19,7 | 17,7 |
| STDEV | 59,9 | 0,60 | 1,98 | 2,30 | 2,09 |
| RASPON | 214,6 | 1,80 | 6,78 | 7,95 | 7,27 |

Na temelju provedenih bilanciranja, sukladno metodologiji opisanoj u poglavlju 4.1.2 provedena su modeliranja nizova povijesnih podataka o srednjim godišnjim protocima, kao i protoka prema različitim klimatskim scenarijima i modelima za razdoblje 1971.-2070. (Slika 4.2-6).

**Slika 4.2-6.** Generirani nizovi podataka o srednjim godišnjim protocima prema različitim klimatskim scenarijima i modelima za razdoblje na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu (1971.-2070.)

Za tako generirane nizove protoka, kombinirane i s povijesnim nizom podataka, provedene su analize homogenosti, trendova, karakterističnih pokazatelja za odabrana karakteristična razdoblja, a sumarni rezultati su sadržani u tablici 4.2-4. Vidljivo je da je i na ovom pilot području utvrđena homogenost između povijesnog niza podataka o protocima i svih povijesnih generiranih nizova prema odabranim klimatskim scenarijima i modelima. Stoga su formirani i novi sintetički nizovi temeljeni na kombinaciji povijesnog niza (1971.-2021.) i generiranih nizova prema danim klimatskim scenarijima i modelima. Kod dijela tako generiranih nizova također je utvrđena nehomogenost između podataka budućeg i povijesnog niza zbog naglašenijih razlika, a koja su uvjetovane promjenama uvjetovanim klimatskim utjecajima.

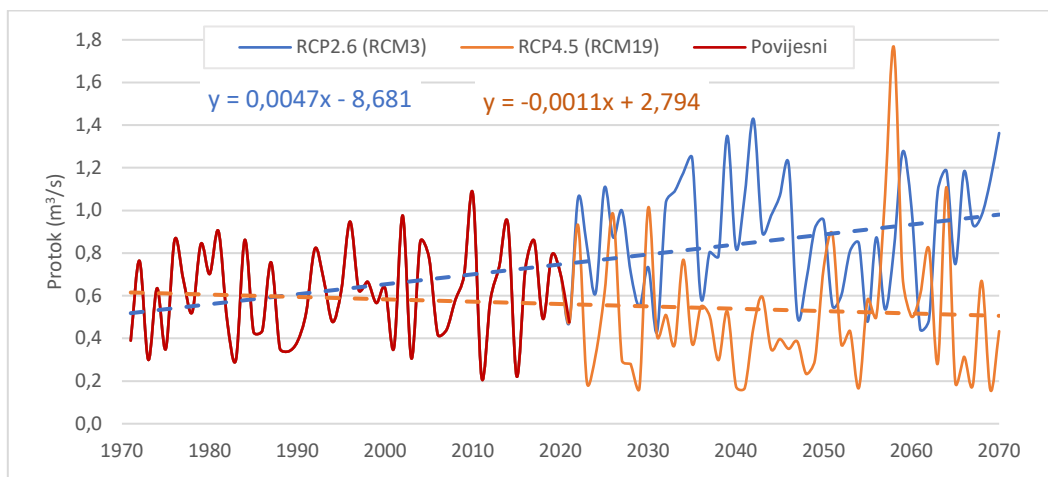
Tablica 4.2-4. Karakteristični pokazatelji generiranih nizova podataka o srednjim godišnjim protocima na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu (1971.-2070.) prema različitim klimatskim scenarijima i modelima

| Klimatski scenarij | Povijesni niz | RCP2.6 | | | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|---|---------------|---|--------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Model | | RCM3 | RCM10 | RCM14 | RCM7 | RCM9 | RCM19 | RCM9 | RCM11 | RCM22 |
| Razdoblje | | 1971. - 2021. | | | | | | | | |
| Homogenost u odnosu na povijesni | | H | H | H | H | H | H | H | H | H |
| SR (m³s⁻¹/god) | 0,609 | 0,664 | 0,633 | 0,659 | 0,590 | 0,597 | 0,632 | 0,620 | 0,576 | 0,672 |
| Max (m³s⁻¹/god) | 1,08 | 1,30 | 1,24 | 1,63 | 1,13 | 1,25 | 1,55 | 1,16 | 1,12 | 1,28 |
| Min (m³s⁻¹/god) | 0,217 | 0,297 | 0,168 | 0,140 | 0,207 | 0,152 | 0,132 | 0,207 | 0,254 | 0,215 |
| Razdoblje | | 1971. - 2070. | | | | | | | | |
| Trend (m³s⁻¹/god) | | 0,0044 | 0,0019 | -0,0016 | 0,0004 | -0,0001 | -0,0015 | 0,0002 | 0,0011 | -0,0001 |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 0,777 | 0,669 | 0,596 | 0,592 | 0,579 | 0,572 | 0,623 | 0,607 | 0,682 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 1,43 | 1,32 | 1,65 | 1,33 | 1,25 | 1,76 | 1,27 | 1,12 | 1,28 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,297 | 0,168 | 0,120 | 0,201 | 0,152 | 0,132 | 0,162 | 0,254 | 0,212 |
| Razdoblje | | Kombinacija povijesni niz 1971. - 2021. te 2022. - 2070. | | | | | | | | |
| Trend (m³s⁻¹/god) | | 0,0047 | 0,002 | -0,0006 | 0,0001 | 0 | -0,0011 | 0,0004 | 0,0006 | 0,001 |
| Homogenost povijesni 1971. - 2021. u odnosu na 2022. - 2070. | | NeH | H | NeH | H | H | NeH | H | H | H |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 0,749 | 0,657 | 0,571 | 0,601 | 0,585 | 0,561 | 0,618 | 0,624 | 0,650 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 1,43 | 1,32 | 1,65 | 1,33 | 1,10 | 1,76 | 1,27 | 1,12 | 1,28 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,217 | 0,217 | 0,120 | 0,201 | 0,207 | 0,158 | 0,162 | 0,217 | 0,212 |
| Razdoblje | | 1981. - 2010. | | | | | | | | |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 0,607 | 0,613 | 0,619 | 0,610 | 0,613 | 0,622 | 0,608 | 0,609 | 0,613 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 1,30 | 1,12 | 1,63 | 1,13 | 1,25 | 1,55 | 1,06 | 1,12 | 1,24 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,297 | 0,168 | 0,140 | 0,263 | 0,152 | 0,132 | 0,337 | 0,254 | 0,215 |
| Razdoblje | | 2041. - 2070. | | | | | | | | |
| SR (m³s⁻¹/god) | | 0,902 | 0,725 | 0,550 | 0,590 | 0,614 | 0,524 | 0,638 | 0,655 | 0,642 |
| Max (m³s⁻¹/god) | | 1,43 | 1,32 | 1,65 | 1,33 | 1,10 | 1,76 | 1,25 | 1,12 | 1,27 |
| Min (m³s⁻¹/god) | | 0,444 | 0,260 | 0,222 | 0,319 | 0,251 | 0,158 | 0,162 | 0,281 | 0,212 |
| | | Odnos 2041. - 2070. / 1981. - 2010. | | | | | | | | |
| SR (%) | | 33% | 15% | -13% | -3% | 0% | -19% | 5% | 7% | 4% |
| Max (%) | | 9% | 15% | 1% | 15% | -13% | 12% | 15% | 0% | 2% |
| Min (%) | | 33% | 36% | 37% | 18% | 39% | 16% | -109% | 9% | -1% |

* H = homogen, NeH = nehomogen

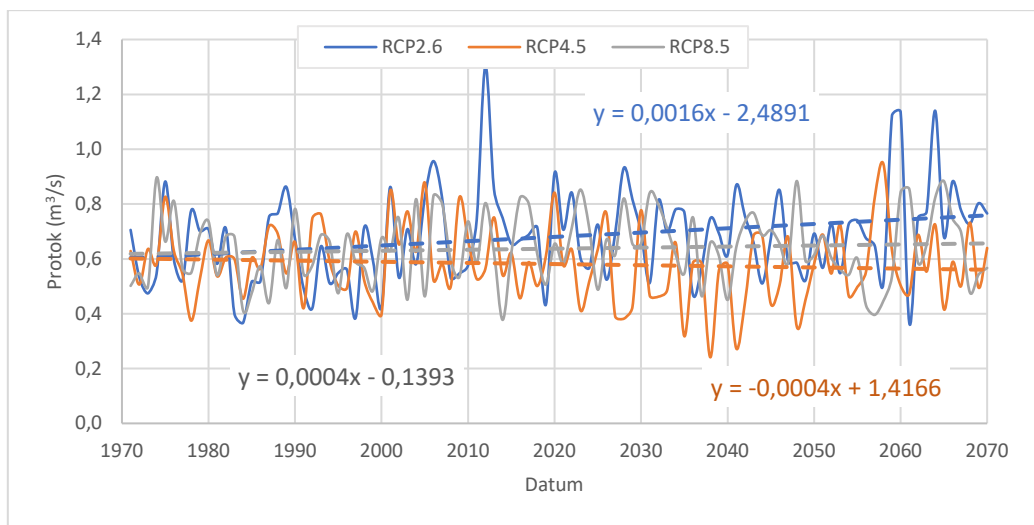
Iz prethodno prikazane tablice 4.2-4 je vidljivo da, ukoliko se usporede karakterističnih pokazatelji za dva odabrana 30-godišnja referentna razdoblja za ocjenu utjecaja klimatskih promjena na vodnu bilancu srednjih godišnjih protoka (za sadašnje klimatske/hidrološke prilike tijekom razdoblja 1981.- 2010. te budućeg razdoblja 2041.-2070) imamo također najveće razlike (uglavnom smanjenje) između budućih i sadašnjih hidroloških prilika u pogledu srednjaka srednjih godišnjih protoka kod modela iz scenarija RCP4.5. Također je utvrđeno da se kod većine analiziranih modela u budućnosti može očekivati povećanje srednjih godišnjih protoka, ali dio njih pokazuje i mogućnost naglašenijih pojave iznimno sušnih razdoblja.

Grafički prikaz hoda dvaju, prema iskazanim trendovima (pozitivnom i negativnom), najizrazitijih nizova modeliranih podataka o protocima nastavljenih na povijesni niz podataka dan je na slici 4.2-7. Iz njega je vidljivo da se potkraj analiziranog razdoblja u budućnosti mogu, ovisno o klimatskom scenariju i modelu, očekivati vrlo različiti protoci – u rasponu od njihova značajnijeg porasta do njihovog naglašenijeg smanjivanja, posebno pri kraju toga razdoblja kod modela RCM19 pri scenariju RCP4.5.



Slika 4.2-7. Prikaz izdvojenih nizova podataka srednjih godišnjih protoka za dva granična slučaja iskazanih trendova odabranih scenarija i modela na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu (1971.-2070.)

Na slici 4.2-8 dan je prikaz osrednjenih vrijednosti srednjih godišnjih protoka prema trima analiziranim klimatskim scenarijima iz kojih se vidi da je na ovom pilot području scenarij RCP4.5 kritičniji po bilanci srednjih godišnjih protoka iz razloga što je jedino kod njega iskazan trend opadanja protoka. Prema scenariju RCP8.5 srednji godišnji protoci mogli bi imati čak i trend porasta, a kod scenarija RCP2.6 stagnacije. No, najniže osrednjene vrijednosti protoka se i na ovom pilot području, kao i u slučaju pilot područja Bokanjac – Poličnik, očekuju ne na kraju analiziranog budućeg razdoblja, nego na njegovom početku.



Slika 4.2-8. Prikaz osrednjenih nizova podataka srednjih godišnjih protoka za odabrane klimatske scenarije na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu (1971.-2070.)

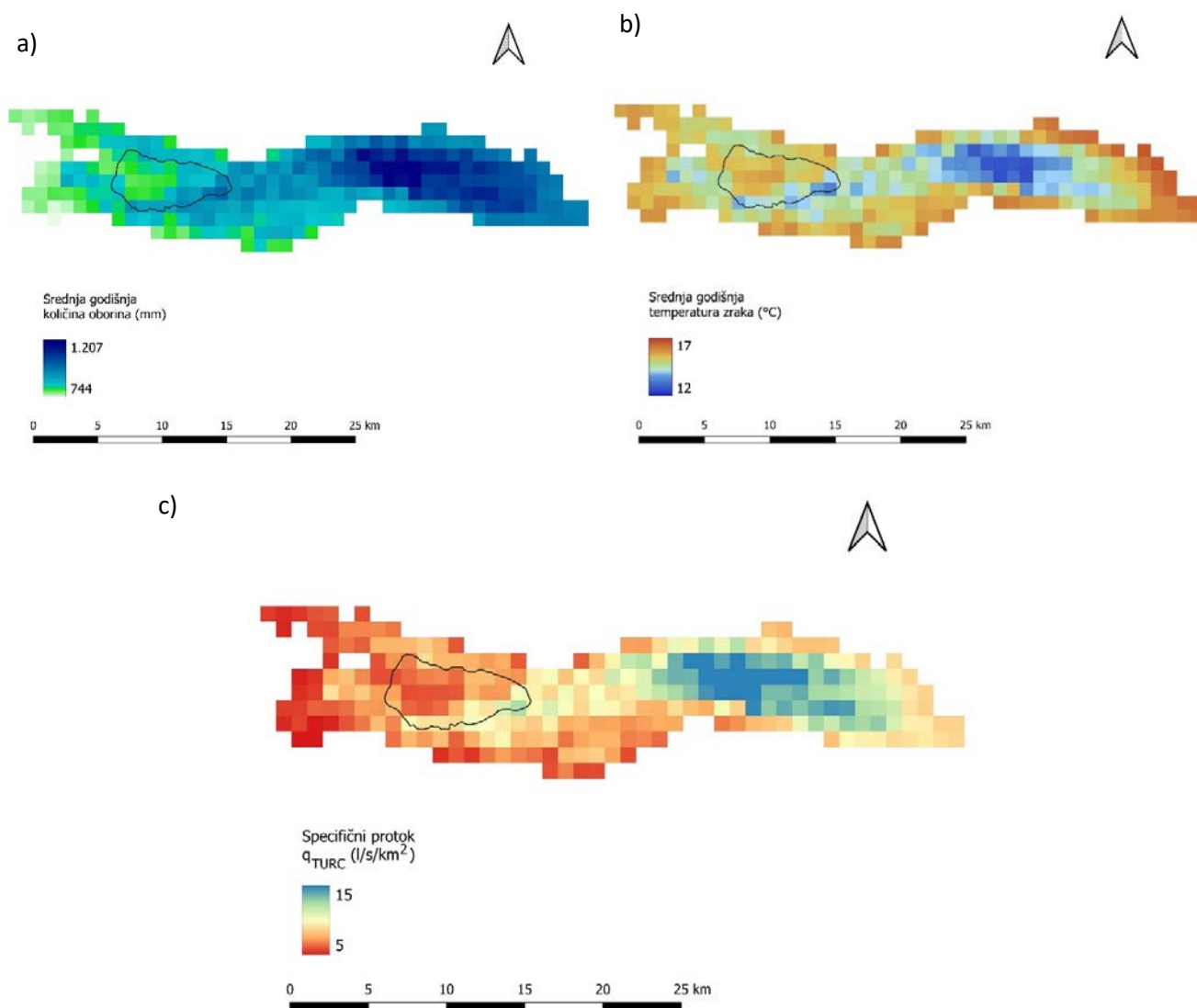
Generalno, dobivene procjene u sklopu predmetnog UKV projekta za buduće stanje (2041-2070.), govore da bi se, u slučaju ostvarenja modela koji daju najkritičnije hidrološke procjene srednjih godišnjih protoka, one mogle u prosjeku smanjiti do oko 20% u odnosu na razdoblje 1981.-2010., s time da dobar dio modela pokazuje i moguće povećanje sr. god. protoka. Te su procjene dvostruko blaže nego li procjene dane u okviru prethodnog projekta CCWaterS (Rubinić et al., 2011b) no gdje je kao referentno razdoblje buduće klime uzeto zadnjih 30 godina u 21. stoljeću.

Za razliku od hidroloških sustava koji su osjetljivi na unutar godišnje razlike vodne bilance tijekom vodnog i sušnog razdoblja kad su i potrebe za vodom najveće, u slučaju pilot područja Vranskog jezera na otoku Cresu to nije naglašeno. Vransko jezero ima iznimno velik volumen s kim se mogu uravnotežiti potrebe za vodom tijekom

godine neovisno o režimu dotoka. No, pri tome je nužno voditi računa da ne dođe do njegova precrpljivanja, o čemu je više rečeno u [poglavlju 5.2](#), ovog dokumenta.

4.2.3. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli

Na temelju prostorne raspodjele palih oborina i temperature zraka za razdoblje 1981.-2010., napravljena je prostorna raspodjela specifičnih otjecanja i za sliv pilot područja Blatsko polje na otoku Korčuli (površine 28,39 km²) i to po metodi Turca ([Slika 4.2-9](#)). Tablični prikaz rezultata spomenutih prostornih obrada dan je u [tablici 4.2-5](#).



Slika 4.2-9. Prostorna raspodjela srednjih vrijednosti a) godišnjih količina oborina, b) srednjih godišnjih temperatura zraka i c) specifičnih protoka na pilot području sliva Blatskog polja na otoku Korčuli tijekom razdoblja 1981.-2010.

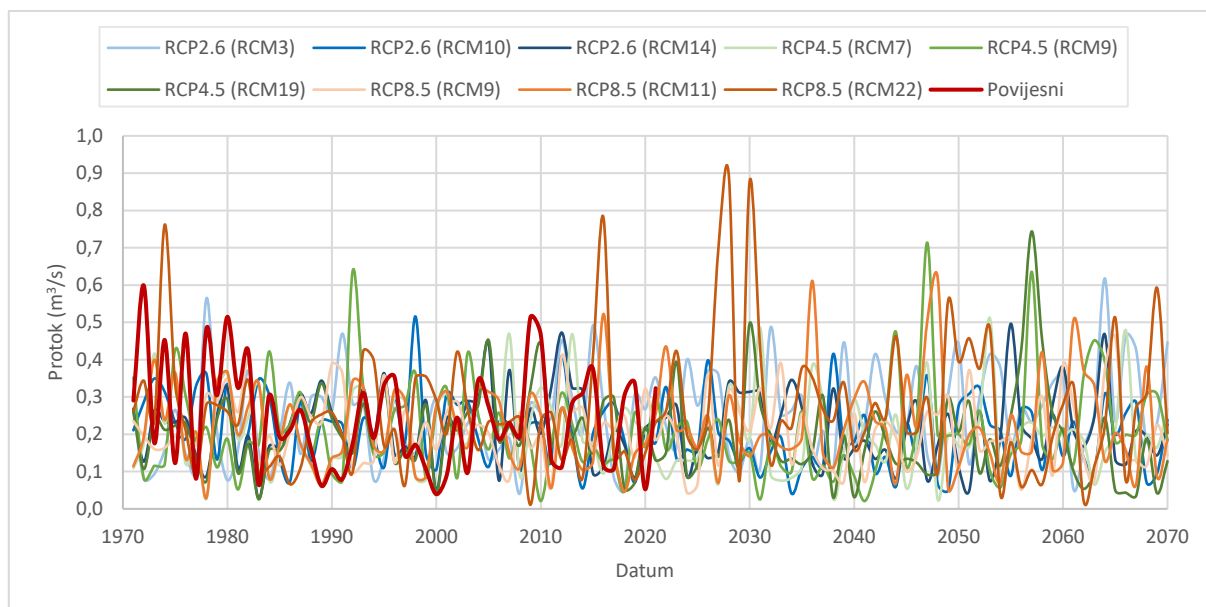
Na temelju provedenih bilanciranja, sukladno metodologiji opisanoj u [poglavlju 4.1.2](#), provedena su modeliranja nizova povijesnih podataka o srednjim godišnjim protocima, kao i protoka prema različitim klimatskim scenarijima i modelima za razdoblje 1971.-2070. ([Slika 4.2-10](#)). Za tako generirane nizove protoka, kombinirane i s povijesnim nizom podataka, provedene su analize homogenosti, trendova, karakterističnih pokazatelja za odabrana karakteristična razdoblja, a sumarni rezultati su sadržani u [tablici 4.2-6](#). Vidljivo je da je i kod ovog pilot područja utvrđena homogenost između povijesnog niza podataka o protocima i svih povijesnih generiranih nizova prema

odabranim klimatskim scenarijima i modelima. Formirani su i novi sintetički nizovi temeljeni na kombinaciji povijesnog niza (1971.-2021.) i generiranih nizova prema danim klimatskim scenarijima i modelima. Kod dijela tih nizova utvrđena je nehomogenost između podataka budućeg i povijesnog niza zbog naglašenijih razlika koje su uvjetovane promjenama klimatskih prilika.

U **tablici 4.2-6** su prikazani i rezultati usporedbe karakterističnih pokazatelja za dva odabrana 30-godišnja referentna razdoblja za ocjenu utjecaja klimatskih promjena na vodnu bilancu srednjih godišnjih protoka – za sadašnje klimatske/hidrološke prilike (razdoblje 1981.-2010.) i buduće razdoblje (2041.-2070). Utvrđeno je da kod svih klimatskih scenarija, ovisno o korištenom modelu, postoje mogućnosti i trenda porasta i smanjenja srednjih godišnjih protoka u budućnosti, pri čemu je to ipak najizvjesnije kod modela po scenariju RCP4.5. No, isto tako kod svih klimatskih scenarija veći broj odabranih modela pokazuje da se u budućnosti očekuju i naglašenije pojave sušnih razdoblja.

Tablica 4.2-5. Prikaz karakterističnih pokazatelja prostorne raspodjele srednjih godišnjih oborina, temperatura zraka te specifičnih protoka za pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli (1981.-2010.)

| Pokazatelj | Oborine (mm) | Temperature (°C) | Spec. protoci - po Langbeinu (l/s/km ²) | Spec. protoci - po Turcu (l/s/km ²) | Spec. protoci - osrednjeno Lang-Turc (l/s/km ²) |
|-------------------|--------------|------------------|---|---|---|
| MIN | 789,4 | 13,4 | 2,63 | 5,90 | 4,27 |
| MAX | 1006 | 15,8 | 8,56 | 12,4 | 10,5 |
| SR | 852,6 | 15,1 | 4,05 | 7,84 | 5,70 |
| MEDIJAN | 837,1 | 15,3 | 3,42 | 7,16 | 5,29 |
| 1. KVARTIL (25 %) | 806,3 | 14,8 | 2,88 | 6,31 | 4,59 |
| 3. KVARTIL (75 %) | 871,8 | 15,5 | 4,01 | 7,98 | 6,00 |
| STDEV | 58,5 | 0,60 | 1,43 | 1,71 | 1,61 |
| RASPON | 213,5 | 2,40 | 5,93 | 6,47 | 6,20 |



Slika 4.2-10. Generirani nizovi podataka o srednjim godišnjim protocima prema različitim klimatskim scenarijima i modelima za razdoblje na pilot području Blatsko polje na otoku Korčuli (1971.-2070.)

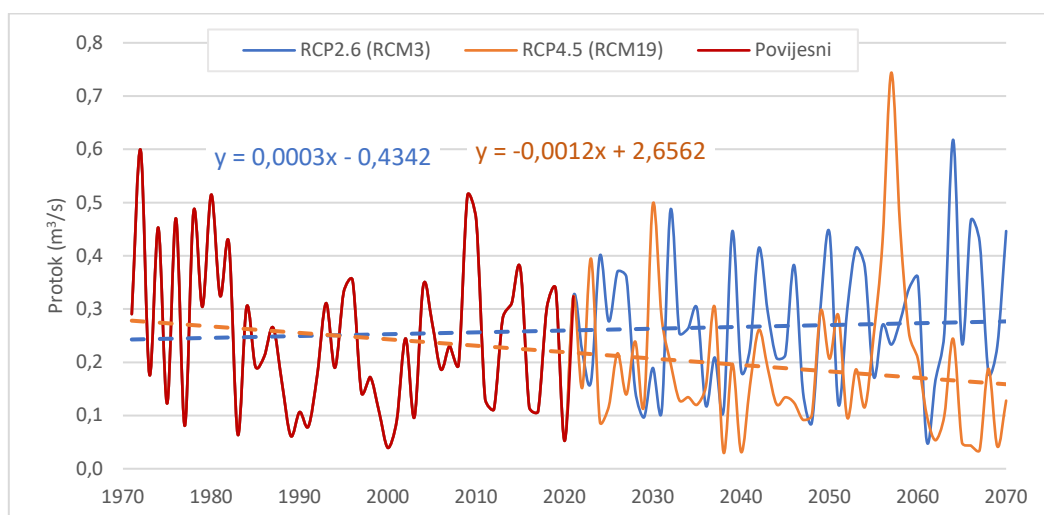
Tablica 4.2-6. Karakteristični pokazatelji generiranih nizova podataka o srednjim godišnjim protocima na pilot području Blatsko polje na otoku Korčuli (1971.-2070.) prema različitim klimatskim scenarijima i modelima

| Klimatski scenarij | Povijesni niz | RCP2.6 | | | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|---|---------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Model | | RCM3 | RCM10 | RCM14 | RCM7 | RCM9 | RCM19 | RCM9 | RCM11 | RCM22 |
| Razdoblje | | 1971. - 2021. | | | | | | | | |
| Homogenost u odnosu na povijesni | | H | H | H | H | H | H | H | H | H |
| SR (m ³ s ⁻¹ /god) | 0,247 | 0,225 | 0,223 | 0,222 | 0,221 | 0,212 | 0,209 | 0,220 | 0,214 | 0,241 |
| Max (m ³ s ⁻¹ /god) | 0,599 | 0,565 | 0,516 | 0,473 | 0,469 | 0,639 | 0,453 | 0,409 | 0,523 | 0,781 |
| Min (m ³ s ⁻¹ /god) | 0,039 | 0,041 | 0,055 | 0,028 | 0,027 | 0,021 | 0,025 | 0,059 | 0,030 | 0,011 |
| Razdoblje | | 1971. - 2070. | | | | | | | | |
| Trend (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,0011 | -0,0007 | -0,0001 | -0,0002 | 0,0001 | -0,0003 | -0,0003 | 0,0001 | 0,0003 |
| SR (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,249 | 0,206 | 0,216 | 0,209 | 0,208 | 0,199 | 0,211 | 0,222 | 0,267 |
| Max (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,618 | 0,516 | 0,496 | 0,511 | 0,714 | 0,744 | 0,461 | 0,619 | 0,895 |
| Min (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,041 | 0,041 | 0,028 | 0,026 | 0,021 | 0,025 | 0,043 | 0,030 | 0,011 |
| Razdoblje | | Kombinacija povijesni niz 1971. - 2021. te 2022. - 2070. | | | | | | | | |
| Trend (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,0003 | -0,0011 | -0,0008 | -0,0009 | -0,0005 | -0,0012 | -0,0009 | -0,0005 | 0,0001 |
| Homogenost povijesni 1971. - 2021. u odnosu na 2022. - 2070. | | H | H | H | H | H | NeH | H | H | H |
| SR (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,260 | 0,218 | 0,229 | 0,222 | 0,226 | 0,218 | 0,225 | 0,239 | 0,270 |
| Max (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,618 | 0,599 | 0,599 | 0,599 | 0,714 | 0,744 | 0,599 | 0,619 | 0,895 |
| Min (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,026 | 0,021 | 0,031 | 0,039 | 0,039 | 0,018 |
| Razdoblje | | 1981. - 2010. | | | | | | | | |
| SR (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,217 | 0,216 | 0,219 | 0,218 | 0,223 | 0,218 | 0,216 | 0,217 | 0,221 |
| Max (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,470 | 0,516 | 0,444 | 0,469 | 0,639 | 0,453 | 0,393 | 0,343 | 0,422 |
| Min (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,041 | 0,073 | 0,028 | 0,064 | 0,021 | 0,025 | 0,079 | 0,065 | 0,011 |
| Razdoblje | | 2041. - 2070. | | | | | | | | |
| SR (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,289 | 0,193 | 0,202 | 0,202 | 0,242 | 0,190 | 0,201 | 0,233 | 0,262 |
| Max (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,618 | 0,358 | 0,496 | 0,511 | 0,714 | 0,744 | 0,461 | 0,619 | 0,593 |
| Min (m ³ s ⁻¹ /god) | | 0,053 | 0,050 | 0,047 | 0,026 | 0,021 | 0,035 | 0,052 | 0,054 | 0,018 |
| Razdoblje | | Odnos 2041. - 2070. / 1981. - 2010. | | | | | | | | |
| SR (%) | | 25% | -12% | -8% | -8% | 8% | -15% | -7% | 7% | 16% |
| Max (%) | | 24% | -44% | 11% | 8% | 11% | 39% | 15% | 45% | 29% |
| Min (%) | | 22% | -48% | 41% | -149% | -1% | 28% | -53% | -20% | 40% |

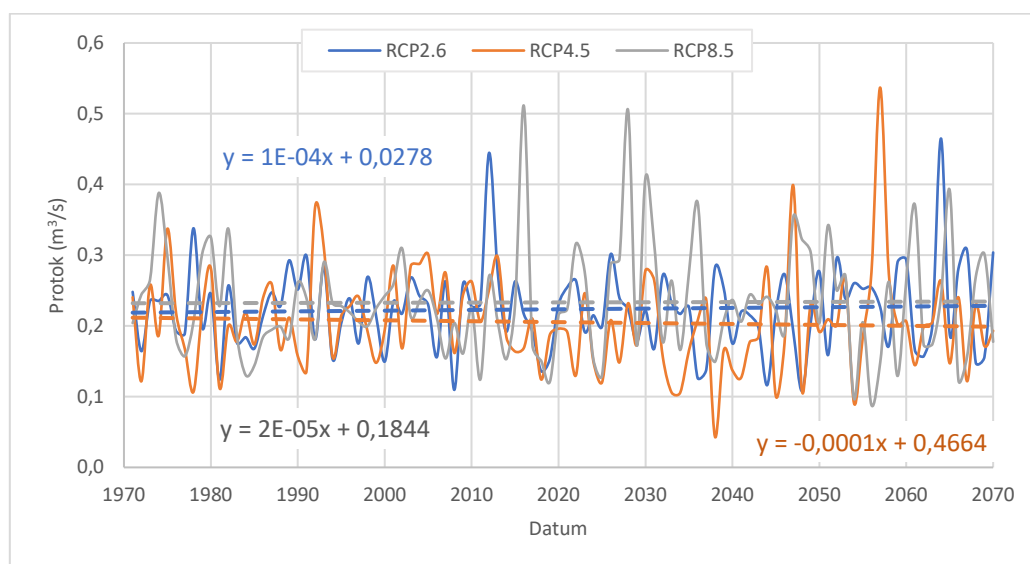
* H = homogen, NeH = nehomogen

Grafički prikaz hoda dvaju, prema iskazanim trendovima (pozitivnom i negativnom), najizrazitijih nizova modeliranih podataka o protocima nastavljenih na povijesni niz podataka dan je na [slici 4.2-11](#). Iz njega je vidljivo da se potkraj analiziranog razdoblja u budućnosti mogu, ovisno o klimatskom scenariju i modelu, očekivati vrlo različiti protoci – u rasponu od njihova značajnijeg porasta do njihovog naglašenijeg smanjivanja, posebno pri kraju toga razdoblja.

Na [slici 4.2-12](#) dan je prikaz osrednjih vrijednosti srednjih godišnjih protoka prema trima analiziranim klimatskim scenarijima iz kojih se vidi da je na ovom pilot području scenarij RCP4.5 kritičniji po bilancu srednjih godišnjih protoka iz razloga što je jedino kod njega iskazan blagi trend opadanja protoka, dok prema dvama ostalim klimatskim scenarijima praktički trend nije prisutan.



Slika 4.2-11. Prikaz izdvojenih nizova podataka srednjih godišnjih protoka za dva granična slučaja iskazanih trendova odabranih scenarija i modela na pilot području Blatsko polje na otoku Korčuli (1971.-2070.)



Slika 4.2-12. Prikaz osrednjenih nizova podataka srednjih godišnjih protoka za odabrane klimatske scenarije na pilot području Blatsko polje na otoku Korčuli (1971.-2070.)

Generalno, dobivene procjene u sklopu predmetnog UKV projekta za buduće stanje (2041-2070.), govore da bi se, u slučaju ostvarenja modela koji daju najkritičnije hidrološke procjene srednjih godišnjih protoka, one mogle u prosjeku smanjiti do oko 15% u odnosu na razdoblje 1981.-2010., s time da neki od modela pokazuju čak i moguće povećanje sr. god. protoka. Te su procjene višestruko blaže nego li procjene dane u okviru prethodnog projekta CCWaterS (Rubinić et al., 2011c) gdje je kao referentno razdoblje buduće klime uzeto zadnjih 30 godina u 21. stoljeću. No, problem je mogućnost pojava iznimno sušnih godina kakve do sada nisu bile zabilježene tijekom kojih može ozbiljno biti ugrožena mogućnost osiguranja vodoopskrbe tijekom takvih hidroloških prilika. Za napomenuti je da se radi o srednjim godišnjim protocima i da na korištenje voda utječe ne samo globalna raspoloživost voda, nego i unutar godišnja raspodjela protoka. Kako se taj element, zbog nedostatka mjerenih podataka o istjecanjima podzemnih voda na analiziranom pilot području nije mogao kvantificirati, preporuka je da se radi sigurnosti ipak više vodi računa o kritičnijim, minimalnim prognoziranim vrijednostima srednjih godišnjih protoka za koje je procijenjeno da se mogu pojedinih godina čak i dvostruko smanjiti.

4.3. Modeliranje pojavnosti ekstremnih kratkotrajnih događaja

Klimatske promjene ne utječu samo na povećanje trajanja, učestalosti i intenziteta sušnih razdoblja što je njihova najčešće razmatrana manifestacija na vodne resurse, nego se očekuje i povećanje pojavnosti ekstremnih kratkotrajnih događaja koji također mogu utjecati na stanje hidroloških prilika i otežane mogućnosti korištenja voda. Prije svega se to podrazumijeva na pojave velikih voda, koje ne samo da mogu izazvati pluvijalne i fluvijalne poplave, nego i dodatne probleme po vodne resurse koje se koriste za vodoopskrbu u pogledu promjena kakvoće njihovih voda. Posebno se to odnosi na izvorišta vode u kršu, prije svega u smislu pojava povećanih mutnoća njihovih voda, ali i kratkotrajnih naglijih prodora zaslanjene vode kroz sam priobalni izvor.

U Studiji utjecaja klimatskih promjena na zdravstvo, izrađenoj u sklopu UKV projekta, detaljno su opisane manifestacije utjecaja ekstremnih klimatskih događaja na zdravstvo, i to kako vezano uz analizirana pilot područja, tako i šire okruženje (izvori na području Rijeke i Istre), jer neke od manifestacije nisu prisutne, ili pak ih, zbog nedostatka odgovarajućih podataka, nije bilo moguće kvantificirati. U ovom finalnom dokumentu UKV projekta dan je naglasak na modeliranju pojava mutnoća krških izvorišta, na primjeru izvora Rakonek u Istri, a koji je zahvaćen za potrebe Vodovoda Pule.

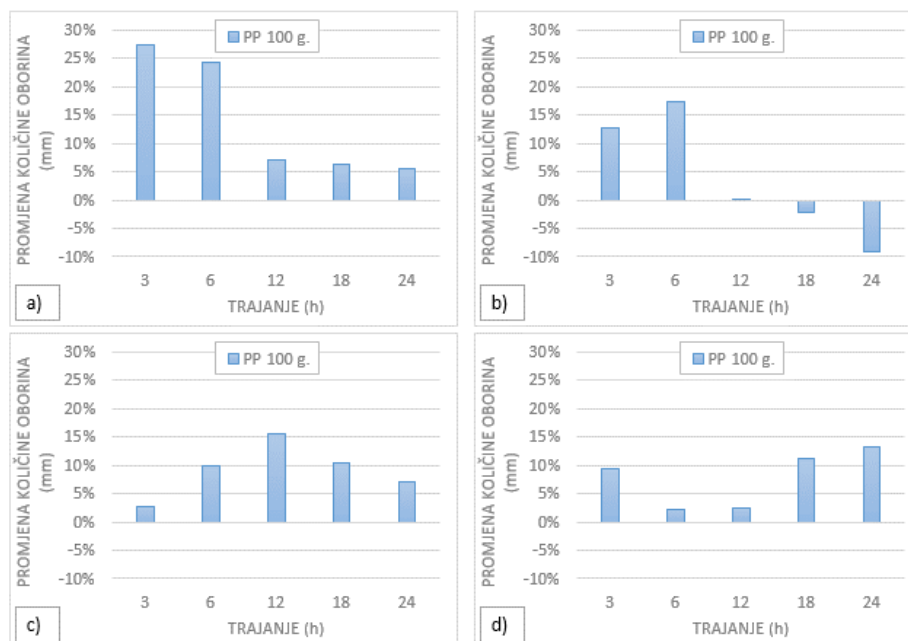
Polazište za sve očekivane promjene pojavnosti velikih voda su promjene intenziteta oborina koje se manifestiraju zajedno s promjenama više drugih klimatskih značajki. U sklopu istraživanja provedenih u sklopu projekta „Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama“ provedene su od strane DHMZ-a i projekcije pojavnosti kratkotrajnih jakih oborina (za trajanja 3-24 sata) u uvjetima klimatskih promjena. Klimatske promjene u budućnosti modelirane su prema RCP4.5 scenariju IPCC-ja, po kojem se očekuje umjereni porast stakleničkih plinova do konca 21. stoljeća. Rezultati numeričkih integracija određeni su kao srednjak ansambla iz četiri individualne integracije RegCM modelom. Svi izračuni napravljeni su na super-računalu VELEbit u Sveučilišnom računskom centru (SRCE) u Zagrebu. Instaliranje, testiranje i izvođenje RegCM eksperimenata, te klimatske izračune uradili su stručnjaci iz DHMZ-a (<https://strategija-prilagodbe-klimatskim-promjenama.prilagodba-klimi.hr/>).

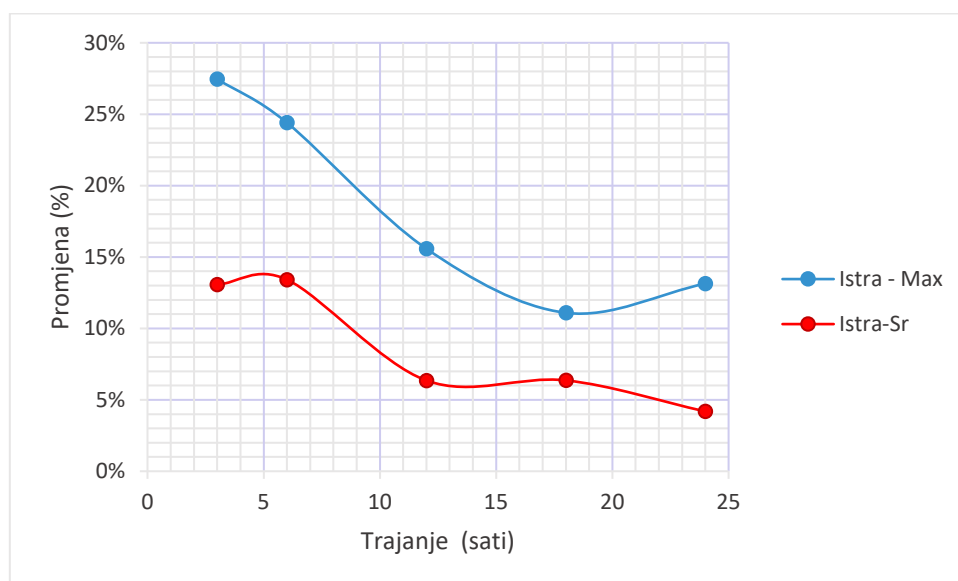
Detaljniji pregled rezultata provedenih modeliranja kratkotrajnih jakih oborina (trajanja 3, 6, 12, 18 i 24 sata) za postaju Rijeka koja je najbliža analiziranoj lokaciji dani je u **tablici 4.3-1**. U njoj su iskazani rezultati – karakteristični pokazatelji klimatskih simulacija za povijesno razdoblje (1971.-2016.), kao i projekcije za buduće razdoblje (2017.-2070). Iz tih je prikaza vidljivo da različiti modeli daju različite scenarije mogućih promjena, no na razini prosječnih vrijednosti cjelokupnog povijesnog i budućeg niza, kao i standardnih odstupanja, razlike nisu prenaplašeno velike – reda veličine do 3 - 4 mm, odnosno uglavnom ispod 2-3 %, rijetko i do 10 %.

Razlike se povećavaju ukoliko se, umjesto prosječnih vrijednosti nizova, razmatraju rijetki događaji čije su značajke pojave proračunate na temelju analize vjerojatnosti pojave generiranih povijesnih i budućih značajki kratkotrajnih jakih oborina. Na **slici 4.3-1** prikazane su razlike (u %) između budućih i povijesnih značajki proračunatih vrijednosti pojava kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda (po Gumbelu) za sva četiri analizirana klimatska modela. Usporedni prikaz prosječnih vrijednosti tih promjena i anvelope proračunatih maksimalnih promjena za proračunate vrijednosti kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda dan je na **slici 4.3-2**. Iz tih je rezultata vidljivo da se kod postaje Rijeka može se očekivati prosječna promjena pojava kratkotrajnih jakih oborina u rasponu od oko 5-15 %, a procjene maksimalnih promjena idu u rasponu od oko 10 %, pa sve do preko 25 %. Također je vidljivo da se razlike smanjuju s povećanjem trajanja oborine. Pri tome valja napomenuti da je iskazana anvelopa maksimalnih vrijednosti mogućih promjena dobivena na temelju različitih klimatskih modela, čije su pojedinačne procjene promjena ipak manje, a pri nekim trajanjima i modelima čak se i ne predviđa povećanje značajki kratkotrajnih jakih oborina (GF Rijeka & DHMZ, 2019).

Tablica 4.3-1. Rezultati modeliranja značajki kratkotrajnih jakih oborina za lokalitet Rijeka za različita trajanja oborina (GF Rijeka & DHMZ, 2019)

| | 3h | 6h | 12h | 18h | 24h |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Model MPI-ESM | | | | | |
| 1971-2016 | | | | | |
| SR | 22,05 | 35,90 | 52,81 | 64,12 | 69,83 |
| STDEV | 5,37 | 9,22 | 16,43 | 20,93 | 24,58 |
| 2017-2070 | | | | | |
| SR | 25,03 | 39,99 | 57,64 | 68,31 | 74,90 |
| STDEV | 7,83 | 12,95 | 17,23 | 22,17 | 25,57 |
| Model EC-Earth | | | | | |
| 1971-2016 | | | | | |
| SR | 20,89 | 33,15 | 48,98 | 57,91 | 65,14 |
| STDEV | 4,39 | 6,76 | 11,76 | 13,79 | 17,23 |
| 2017-2070 | | | | | |
| SR | 22,37 | 35,60 | 50,10 | 58,67 | 64,43 |
| STDEV | 5,35 | 8,98 | 11,46 | 12,84 | 14,03 |
| Model HadGEM2 | | | | | |
| 1971-2016 | | | | | |
| SR | 20,21 | 33,35 | 48,62 | 57,99 | 64,84 |
| STDEV | 7,18 | 9,89 | 12,42 | 16,18 | 18,81 |
| 2017-2070 | | | | | |
| SR | 22,29 | 36,24 | 50,06 | 59,95 | 67,50 |
| STDEV | 6,88 | 10,98 | 16,31 | 19,13 | 20,76 |
| Model Cm5 | | | | | |
| 1971-2016 | | | | | |
| SR | 23,18 | 37,76 | 53,69 | 62,55 | 67,63 |
| STDEV | 6,48 | 10,82 | 16,61 | 18,26 | 19,36 |
| 2017-2070 | | | | | |
| SR | 24,31 | 38,26 | 54,85 | 63,65 | 69,15 |
| STDEV | 7,40 | 11,15 | 17,11 | 22,15 | 24,25 |

**Slika 4.3-1.** Usporedni prikaz promjene značajki kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda između budućeg (2017.-2070.) i povijesnog (1971.-2016.) razdoblja za lokalitet Rijeka (Istra) prema klimatskim modelima: a) MPI-ESM, b) EC-Earth, c) HadGEM2, d) Cm5 (GF Rijeka & DHMZ, 2019)



Slika 4.3-2. Usporedni prikaz prosječnih i anvelope proračunatih maksimalnih promjena vjerojatnosti pojave kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda za postaju Rijeka koja je reprezent i za područje Istre (GF Rijeka & DHMZ, 2019)

Očekivano povećanje intenziteta oborina uvjetovat će i povećanje problema s pojavama ekstremnih mutnoća, posebno na izvorima koji imaju tzv. binarnu strukturu sliva – krški vodonosnik im se koncentrirano prihranjuje sa pretežno vodonepropusnog sliva. Kao primjer je uzet izvor Rakonek u slivu rijeke Raše gdje se i u postojećim klimatskim uvjetima javljaju ekstremne mutnoće. Izvor se prihranjuje vodama Pazinčice čija je glavčina u fliškim strukturama, a svoj tok završava u karbonatnoj ponorskoj zoni Pazinske jame. Sumarni rezultati provedenih modeliranja metodama primjene umjetne inteligencije dani su u Studiji utjecaja klimatskih promjena na zdravlje, a detaljni prikaz te problematike u studiji [GF Rijeka et al. \(2020\)](#).

4.4. Modeliranje temperature vode

Temperatura vode jedan je od vrlo važnih pokazatelja vodnog režima nekog vodnog sustava. Vodni sustavi su ujedno i ekosustavi gdje biološke procese u njima uveliko determiniraju temperaturne prilike. Obzirom da je u okviru [poglavlja 5.2](#) ovog dokumenta utvrđen značajan trend porasta temperature priobalne vode Vranskog jezera na lokaciji CS Vrana (reda veličine 4,2 °C/100 god za srednje godišnje, te čak 5,9 °C/100 god za maksimalne godišnje vrijednosti), u ovom su poglavlju provedene detaljnije analize – modeliranja utjecaja klimatskih promjena na daljnje promjene temperature priobalne vode u Vranskom jezeru.

Modeliranja je provedeno, sukladno opisanom metodologiji u [poglavlju 4.1.2](#) ovog dokumenta primjenom metoda strojnog učenja. Pri tome je korišten WEKA programski alat ([WEKA, 2017](#)) za strojno učenje. Na taj način omogućuje se da se kvantiteta određene velike količine podataka pretvori u kvalitetnu interpretaciju koja nadalje rezultira novim znanjem. Kao što je u [poglavlju 4.1.2](#) prilikom opisa metodologije obrazloženo, modeliranje temperature vode provedeno je dvama klasama modela – neuronskim mrežama pri čemu je uzeta mreža *Multilayer perceptron* (u nastavku skraćeno MLP), te modelom s regresijskim stablima *Trees.M5P*. Pri modeliranju su korišteni slijedeći procjenitelji dobrote prilagođavanja modeliranih i opaženih podataka: koeficijent korelacije, srednja i relativna apsolutna greška.

Kao prvi korak modeliranja budućeg stanja od 2022. do 2070. godine, provedeno je modeliranje temperatura vode na povijesnom nizu od 1979. do 2021. godine na način da se provodilo treniranje modela na tako zabilježenim podacima. Kako uspješnost modeliranja u znatnoj mjeri ovisi o raspoloživosti nizova ulaznih podataka i njihovom primjerenom odabiru, nužno je bilo izdvojiti oko 20% raspoloživih povijesnih podataka za testiranje modela. Pri tome je vođeno računa da se testiranje ne provodi na ekstremnijim situacijama nego što su

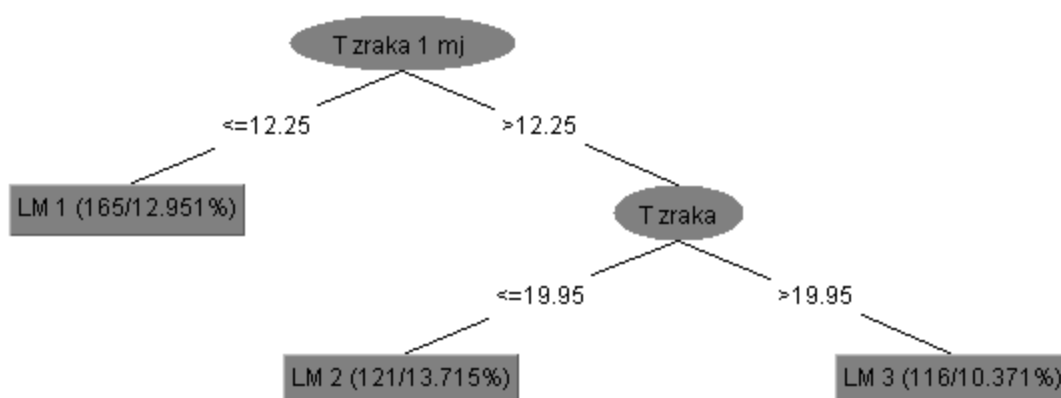
situacije na kojima je istrenirana neuronska mreža ili model regresijskog stabla. U ovoj situaciji, određen je niz podataka za treniranje (1987.-2021.) na osnovu čijih rezultata se definira model, a zatim je provedena njegova verifikacija na nezavisnom nizu podataka za razdoblje 1979.-1986. Modeliranje povijesnog razdoblja na osnovu treniranog modela dano je radi provjere podudarnosti podataka i točnosti modela, kako bi se dobile što točnije predikcije za budućnost.

Za primjerenu provedbu modeliranja, od velikog je značaja odabir određenih atributa za modeliranje. Iz tog razloga analizirana je autokorelacijska funkcija srednjih mjesečnih podataka o temperaturama zraka i vode, te je utvrđeno postojanje njihove međusobne zavisnosti do 4 mjeseca unazad. Zbog toga su za generiranje modela odabrane ulazne varijable obuhvatili mjesečne podatke sedam odabranih atributa. Uz temperature vode kao zavisne varijable, kao nezavisne varijable odabrane su temperature zraka, temperature zraka prethodni mjesec, temperature zraka dva mjeseca prije, temperature zraka tri mjeseca prije, temperature zraka četiri mjeseca prije kao i oborina na postaji Cres. Za modeliranje temperature vode treniralo se na 402 mjeseca, dok se testiralo na 96 mjeseci. U **tablici 4.4-1** dane su vrijednosti koeficijenta korelacije, srednje apsolutne greške i relativne apsolutne greške pri spomenutim modeliranjima. Iz tablice vidimo da oba modela pokazuju jako dobru prilagodbu, s vrlo malom prednošću manjim greškama odstupanja kod modela regresijskog stabla odlučivanja.

Tablica 4.4-1. Vrijednosti koeficijenta korelacije, srednje apsolutne greške i relativne apsolutne greške

| | Koeficijent korelacije | Srednja apsolutna pogreška (NTU) | Relativna apsolutna pogreška (%) |
|-----------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Trees.M5P | 0,993 | 0,590 | 10,8% |
| Multilayer perceptron | 0,993 | 0,616 | 11,2% |

Na **slici 4.4-1** prikazan je rezultirajući model - regresijsko stablo odlučivanja za procjenu srednjih mjesečnih temperatura vode u Vranskom jezeru na Cresu. U čvorovima stabla odlučivanja su imena atributa koja su ključna za odlučivanje, a grane koje izlaze iz svakog čvora predstavljaju uvjete koje treba zadovoljiti da bi se primjer usmjerio tom granom. Grananje stabla završava sa krajnjim čvorovima, kojih u ovom slučaju ima tri. Ti čvorovi određuju klasu kojoj pripadaju primjeri koji su s obzirom na vrijednost svog atributa razvrstani u taj određeni čvor. Klase krajnjih čvorova (LM 1-3) označavaju formule za proračunavanje srednjih mjesečnih temperatura vode.



$$LM 1 = 0.4146 * T \text{ zraka} + 0.3009 * T \text{ zraka 1 mj} + 0.1521 * T \text{ zraka 2 mj} + 0.004 * T \text{ zraka 4 mj} + 0.004 * \text{Oborine} + 1.681$$

$$LM 2 = 0.4673 * T \text{ zraka} + 0.318 * T \text{ zraka 1 mj} + 0.0712 * T \text{ zraka 2 mj} - 0.0485 * T \text{ zraka 3 mj} + 0.0055 * T \text{ zraka 4 mj} + 0.0016 * \text{Oborine} + 3.6723$$

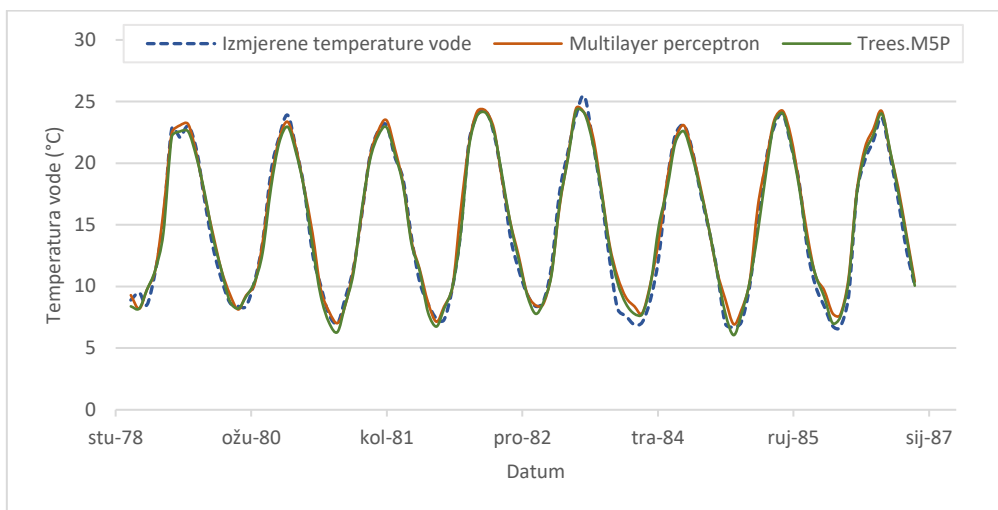
$$LM 3 = 0.4673 * T \text{ zraka} + 0.318 * T \text{ zraka 1 mj} + 0.0712 * T \text{ zraka 2 mj} - 0.0485 * T \text{ zraka 3 mj} + 0.0055 * T \text{ zraka 4 mj} + 0.0016 * \text{Oborine} + 3.6723$$

Slika 4.4-1. Regresijsko stablo odlučivanja za procjenu srednjih mjesečnih temperatura vode ($T \text{ zraka}$ = temperatura zraka, $T \text{ zraka 1 mj}$ = temperatura zraka prethodni mjesec) i njegove formule

Na **slici 4.4-2** dan je prikaz izmjerenih i modelom regresijskih stabla i neuronskih mreža proračunatih vrijednosti temperature vode za testirano razdoblje 1979.-1986. Iz prikaza je vidljivo da je prilikom modeliranja temperature

vode postignut vrlo velik stupanj podudarnosti između izmjerenih srednjih mjesečnih temperatura vode i modelom *Multilayer Perceptron*, kao i *Trees.M5P* modeliranih srednjih mjesečnih temperatura vode za testirani model.

Rangiranjem utjecaja pojedinih atributa na rezultat modeliranja, dobiven je njihov hijerarhijski raspored (Tablica 4.4-2). Ovaj postupak pruža informaciju o važnosti pojedinih atributa, te služi za eliminaciju nebitnih s ciljem izrade kvalitetnijeg klasifikacijskog modela.



Slika 4.4-2. Prikaz izmjerenih i modeliranih (MPL i *Trees.M5P*) temperatura vode (1979.-1986.)

Tablica 4.4-2. Rangiranje atributa pri modeliranju mjesečnih temperatura vode u Vranskom jezeru na Cresu

| Redni broj | Rangiranje atributa pri modeliranju mjesečnih temperatura vode |
|------------|--|
| 1 | Temperature zraka |
| 2 | Temperature zraka prethodni mjesec |
| 3 | temperature zraka četiri mjeseca prije |
| 4 | temperature zraka dva mjeseca prije |
| 5 | temperature zraka tri mjeseca prije |
| 6 | Oborine |

Na osnovu treniranog modela neuronskih mreža i regresijskih stabala prognozirane su promjene na duljoj vremenskoj skali (2022.-2070.). Za provedbu modeliranja temperature vode, unutar svakog od RCP scenarija odabran je po jedan reprezentativan modela (za RCP2.6 scenarij model 14, za RCP4.5 model 19, te za RCP8.5 model 22), po kriteriju da su odabrani oni modeli koji su pokazivali najveći trend porasta temperature zraka.

Osnovni statistički pokazatelji karakterističnih mjesečnih i godišnjih podataka o generiranim temperaturama vode prema modelima RCP2.6 (RCM14), RCP4.5 (RCM19) i RCP8.5 (RCM22) za razdoblje od 2041. do 2070. godine dani su u tablici 4.4-3. Radi usporedbe, u tablicama su dane i srednje mjesečne i godišnje vrijednosti povijesnih temperatura vode za razdoblje od 1979. do 2010.

Kao što se vidi iz tablice 4.4-3, rezultati za modelirane temperature vode pomoću neuronskih mreža i regresijskih stabla daju vrlo slične rezultate. Srednja godišnja temperatura vode za povijesno razdoblje (1979.-2010.) iznosi 15,6°C, dok prema modelu *Trees.M5P* za buduće razdoblje (2041.-2070.) iznosi 17,2°C za model RCP2.6 (RCM14), 17,7°C za model RCP4.5 (RCM19), te 18,4°C za model RCP8.5 (RCM22). U tablici 4.4-4 dana je razlika između generiranih (2041.-2070.) i povijesnih temperatura vode (1979.-2010.). Vidljivo je da kod svih modela tijekom svih

mjeseci dolazi do povećanja temperature vode, osim kod modela RCP2.6 (RCM14) tijekom mjeseca lipnja, kada dolazi do vrlo blagog smanjenja maksimalnih mjesečnih temperatura vode. Maksimalno povećanje srednjih mjesečnih temperatura vode iznosi 3,6°C i to kod scenarija RCP8.5 (RCM22) u mjesecu svibnju. Prosječno godišnje povećanje u odnosu na 30-godišnji povijesni niz iznosi 1,6°C za model RCP2.6 (RCM14), 2,1°C za model RCP4.5 (RCM19), te 2,8°C za model RCP8.5 (RCM22). To su ujedno i najveći očekivani porasti prema pojedinim klimatskim scenarijima jer ostali modeli po tim scenarijima daju nešto manje očekivane promjene.

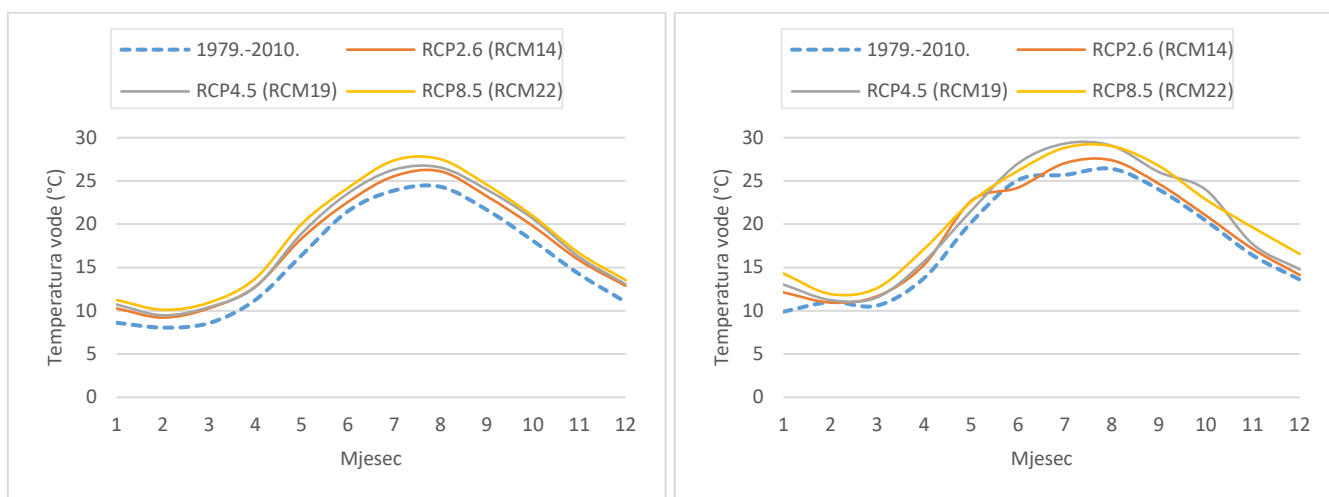
Tablica 4.4-3. Karakteristični mjesečni i godišnji podaci o generiranim temperaturama vode prema modelima RCP2.6 (RCM14), RCP4.5 (RCM19) i RCP8.5 (RCM22) u razdoblju od 2041.-2070. (Multilayer Perceptron i Trees.M5P) u usporedbi sa povijesnim temperaturama vode za razdoblje 1979.-2010.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1979.-2010. | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 8,6 | 8,1 | 8,6 | 11,3 | 16,4 | 21,5 | 23,9 | 24,3 | 21,7 | 18,1 | 14,2 | 11,0 | 15,6 |
| Max | 9,9 | 11 | 10,6 | 13,8 | 20,2 | 25,1 | 25,7 | 26,4 | 24 | 20,4 | 16,4 | 13,6 | 17,3 |
| Min | 7,0 | 5,5 | 6,4 | 9 | 12,4 | 18,5 | 21,8 | 22,8 | 20 | 16,4 | 12,2 | 8,2 | 14,3 |
| 2041.-2070. | | | | | | | | | | | | | |
| Multilayer Perceptron - RCP2.6 (RCM14) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 10,6 | 9,2 | 10,2 | 13,0 | 18,6 | 23,0 | 25,4 | 25,5 | 23,2 | 20,0 | 15,8 | 13,0 | 17,3 |
| Max | 12,6 | 10,9 | 11,6 | 14,8 | 22,7 | 25,1 | 26,5 | 26,5 | 24,3 | 21,1 | 17,0 | 14,3 | 18,2 |
| Min | 9,1 | 8,0 | 8,9 | 11,6 | 16,1 | 19,9 | 23,6 | 23,9 | 21,9 | 19,0 | 14,4 | 11,5 | 16,5 |
| Trees.M5P - RCP2.6 (RCM14) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 10,3 | 9,2 | 10,3 | 12,8 | 18,4 | 22,6 | 25,6 | 26,1 | 23,2 | 19,8 | 15,8 | 12,9 | 17,2 |
| Max | 12,1 | 11,0 | 11,7 | 15,3 | 22,7 | 24,2 | 27,1 | 27,4 | 24,7 | 21,0 | 17,1 | 14,1 | 18,2 |
| Min | 8,5 | 7,8 | 8,8 | 11,5 | 16,3 | 18,7 | 23,5 | 24,1 | 21,4 | 18,9 | 13,9 | 11,2 | 16,3 |
| Multilayer Perceptron - RCP4.5 (RCM19) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 10,9 | 9,4 | 10,3 | 13,1 | 19,0 | 23,8 | 26,0 | 25,7 | 23,7 | 20,5 | 16,2 | 13,1 | 17,7 |
| Max | 12,9 | 11,3 | 11,6 | 15,2 | 21,8 | 26,1 | 27,6 | 27,0 | 25,3 | 22,7 | 17,5 | 14,6 | 19,0 |
| Min | 9,3 | 7,5 | 9,2 | 11,6 | 17,8 | 21,7 | 24,2 | 24,2 | 22,3 | 18,9 | 15,2 | 11,6 | 16,9 |
| Trees.M5P - RCP4.5 (RCM19) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 10,7 | 9,5 | 10,4 | 12,7 | 18,9 | 23,6 | 26,3 | 26,6 | 24,0 | 20,6 | 16,2 | 13,1 | 17,7 |
| Max | 13,0 | 11,2 | 11,6 | 15,7 | 21,6 | 27,0 | 29,3 | 29,1 | 26,0 | 24,0 | 17,7 | 14,8 | 19,5 |
| Min | 8,4 | 7,1 | 9,2 | 11,6 | 17,3 | 21,3 | 24,0 | 24,4 | 22,6 | 18,9 | 14,7 | 11,1 | 16,7 |
| Multilayer Perceptron - RCP8.5 (RCM22) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 11,4 | 10,1 | 10,9 | 14,0 | 20,2 | 24,6 | 26,7 | 26,4 | 24,1 | 20,8 | 16,6 | 13,5 | 18,3 |
| Max | 13,9 | 12,0 | 12,9 | 16,8 | 23,1 | 26,0 | 27,4 | 27,3 | 26,0 | 22,4 | 19,3 | 16,8 | 19,3 |
| Min | 10,1 | 8,5 | 8,3 | 11,9 | 17,0 | 22,0 | 24,8 | 25,2 | 22,0 | 18,6 | 14,8 | 11,4 | 16,5 |
| Trees.M5P - RCP8.5 (RCM22) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 11,2 | 10,1 | 10,9 | 13,7 | 20,0 | 24,2 | 27,4 | 27,5 | 24,6 | 20,9 | 16,7 | 13,5 | 18,4 |
| Max | 14,3 | 11,9 | 12,6 | 17,2 | 22,6 | 26,2 | 28,8 | 29,0 | 26,7 | 22,8 | 19,6 | 16,6 | 19,8 |
| Min | 9,4 | 8,1 | 8,2 | 11,4 | 17,0 | 21,6 | 24,7 | 25,3 | 22,0 | 18,2 | 14,4 | 11,7 | 16,2 |

Tablica 4.4-4. Razlika između generiranih temperatura vode (2041.-2070.) i povijesnih temperatura vode (1979.-2010.)

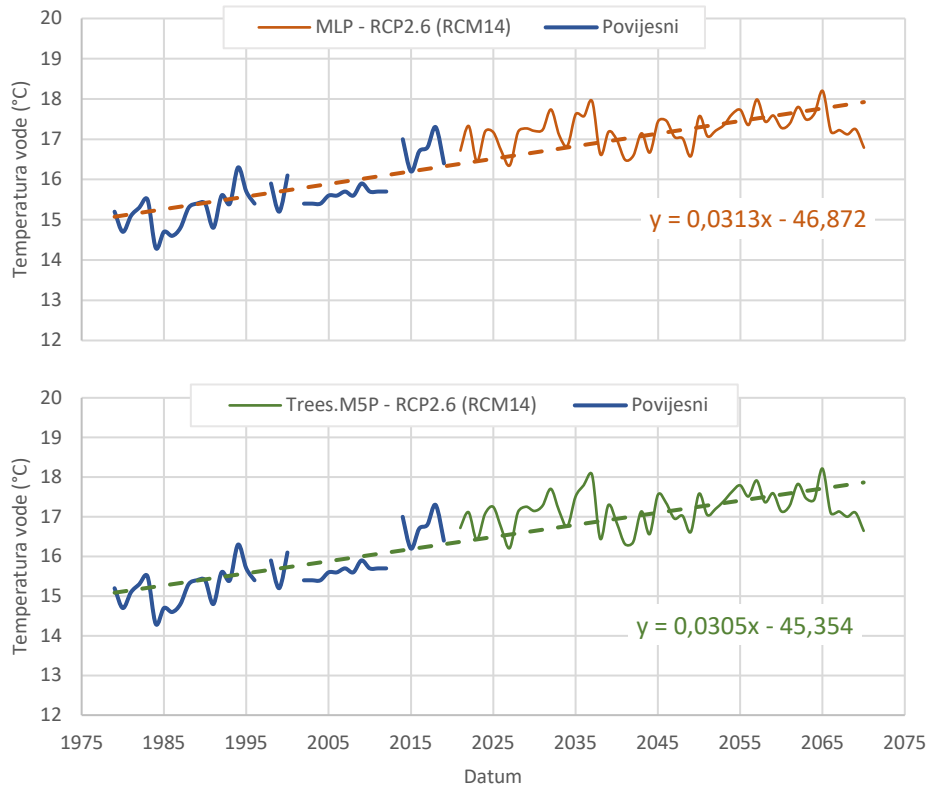
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Trees.M5P - RCP2.6 (RCM14) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 1,7 | 1,2 | 1,7 | 1,5 | 1,9 | 1,1 | 1,7 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 1,6 |
| Max | 2,2 | 0,0 | 1,1 | 1,5 | 2,5 | -0,9 | 1,4 | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,9 |
| Min | 1,5 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 3,9 | 0,2 | 1,7 | 1,3 | 1,4 | 2,5 | 1,7 | 3,0 | 2,0 |
| Trees.M5P - RCP4.5 (RCM19) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 2,1 | 1,4 | 1,8 | 1,5 | 2,5 | 2,1 | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,1 |
| Max | 3,1 | 0,2 | 1,0 | 1,9 | 1,4 | 1,9 | 3,6 | 2,7 | 2,0 | 3,6 | 1,3 | 1,2 | 2,2 |
| Min | 1,4 | 1,6 | 2,8 | 2,6 | 4,9 | 2,8 | 2,2 | 1,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,9 | 2,4 |
| Trees.M5P - RCP2.6 (RCM14) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 2,6 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 3,6 | 2,7 | 3,5 | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 2,4 | 2,5 | 2,8 |
| Max | 4,4 | 0,9 | 2,0 | 3,4 | 2,4 | 1,1 | 3,1 | 2,6 | 2,7 | 2,4 | 3,2 | 3,0 | 2,5 |
| Min | 2,4 | 2,6 | 1,8 | 2,4 | 4,6 | 3,1 | 2,9 | 2,5 | 2,0 | 1,8 | 2,2 | 3,5 | 1,9 |

Razmotrena je unutar godišnja raspodjela generiranih srednjih i maksimalnih srednjih mjesečnih temperatura vode prema scenarijima RCP2.6 (RCM14), RCP4.5 (RCM19) i RCP8.5 (RCM22) za razdoblje 2041.-2070. u usporedbi sa povijesnim nizom (1979.-2010.), i to i u danom slučaju prema modelu strojnog učenja *Trees.M5P* (Slika 4.4-3). Iz prikaza vidimo da, prema podacima dobivenim na osnovu sva tri modela, dolazi do povećanje temperatura vode tijekom cijele godine te da generirane temperature imaju vrlo sličan hod u odnosu na povijesni niz.

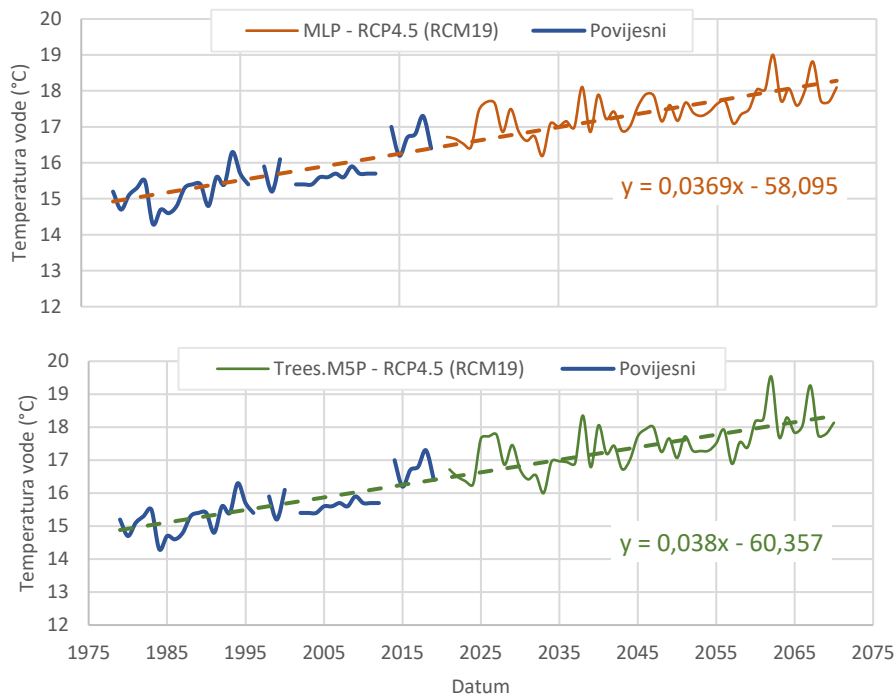


Slika 4.4-3. Unutar godišnja raspodjela generiranih (*Trees.M5P*) srednjih (lijevo) i maksimalnih (desno) mjesečnih temperatura vode prema modelima RCP2.6 (RCM14), RCP4.5 (RCM19) i RCP8.5 (RCM22) u razdoblju od 2041. do 2070. u usporedbi sa maksimalnim srednjim mjesečnim temperaturom vode povijesnog niza (1979.-2010.)

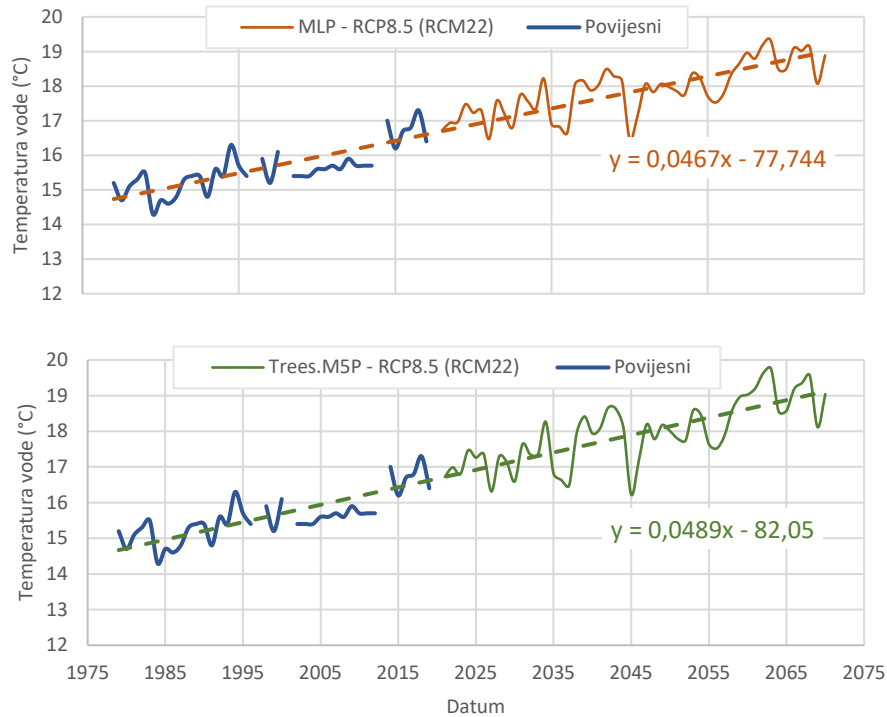
Vrijednosti povijesnih (1979.-2021.) i prema različitim klimatskim modelima generiranih sintetičkih serija (2022.-2070.) srednjih godišnjih temperatura vode s pripadajućim trendovima prema *Multilayer Perceptron* i *Trees.M5P* prikazani su na slikama 4.4-4 – 4.4-6.



Slika 4.4-4. Prikaz povijesnih i prema modelu RCP2.6 (RCM14) generiranih sintetičkih serija srednjih godišnjih temperatura vode (1979.-2070.) s pripadajućim trendovima prema: MLP (gore) i Trees.M5P (dole)



Slika 4.4-5. Prikaz povijesnih i prema modelu RCP4.5 (RCM19) generiranih sintetičkih serija srednjih godišnjih temperatura vode (1979.-2070.) s pripadajućim trendovima prema: MLP (gore) i Trees.M5P (dole)



Slika 4.4-6. Prikaz povijesnih i prema modelu RCP8.5 (RCM22) generiranih sintetičkih serija srednjih godišnjih temperatura vode (1979.-2070.) s pripadajućim trendovima prema: MLP (gore) i Trees.M5P (dole)

Vidljivo je da svi modeli prognoziraju povećanje srednjih godišnjih temperatura vode i to za čak 3°C/100 god prema modelu RCP2.6 (RCM14), 3,8°C/100 god prema modelu RCP4.5 (RCM19), te za čak 4,9°C prema najkritičnijem modelu RCP8.5 (RCM22). To su povećanja koja su modelirana pomoću *Trees.M5P*, no praktički iste prognoze daju i rezultati koji su modelirani pomoću neuronskih mreža.

5. STANJE PODZEMNIH I POVRŠINSKIH VODA U UVJETIMA KLIMATSKIH PROMJENA

Priobalni i otočki vodonosnici u Hrvatskoj, ali i šire na području Mediterana, imaju nezamjenjivu ulogu u osiguravanju potrebnih količina voda za potrebe javne vodoopskrbe priobalnog područja. Budući da se radi o izrazito turističkim područjima te su potrebe posebno izražene tijekom ljetnih mjeseci kada velika količina turista dolazi u priobalno područje. Tada se potrebne količine pitke vode u sustavima javne vodoopskrbe povećavaju i nekoliko puta u odnosu na zimske mjesece kada se vodom opskrbljuje samo lokalno stanovništvo.

Priobalni i otočki krški vodonosnici obično su u izravnom kontaktu s morskom vodom koja prodire u obalnu zonu vodonosnika stvarajući zonu miješanja slane i slatke vode. Zbog dinamike istjecanja, kao i dinamike plime i oseke, to nije oštra granica između dva medija, već se formira zona miješanja u kojoj je salinitet povećan u odnosu na slatkovodne vodonosnike i raste prema moru. Ova zona može biti debela nekoliko desetaka metara i poznavanje njezine dinamike vrlo je važno za upravljanje bilo kojim priobalnim ili otočkim vodonosnikom. Naime, svaki poremećaj ove labilne ravnoteže može uzrokovati pomicanje zone miješanja prema priobalnom vodonosniku, stvarajući zaslanjenje pojedinih zona vodonosnika i moguće probleme u funkcioniranju javnih vodoopskrbnih sustava. Smanjeni dotoci vodonosnika tijekom ljetnih sušnih razdoblja, produljena sušna razdoblja i smanjena infiltracija te podizanje razine mora kao prirodni uzroci doprinose ovoj neravnoteži. S druge strane, neravnoteža može biti rezultat visokih gradijenata podzemne vode nakon oborina visokog intenziteta koji uzrokuju širenje zone miješanja zbog izdizanja zaslanjene vode iz vrlo duboke zone krškog vodonosnika. Glavni uzroci ovih promjena su klimatske promjene koje uzrokuju produljenje suhih, ljetnih razdoblja, povećanje intenziteta padalina, povećanje srednje temperature zraka i povećanje evapotranspiracije. Antropogeni razlozi poput pretjeranog crpljenja za javnu vodoopskrbu, industriju ili poljoprivredu ili odvodnjavanje poplavnih područja izgradnjom odvodnih kanala ili tunela također mogu pridonijeti ovoj neravnoteži (Biondić et al., 2022).

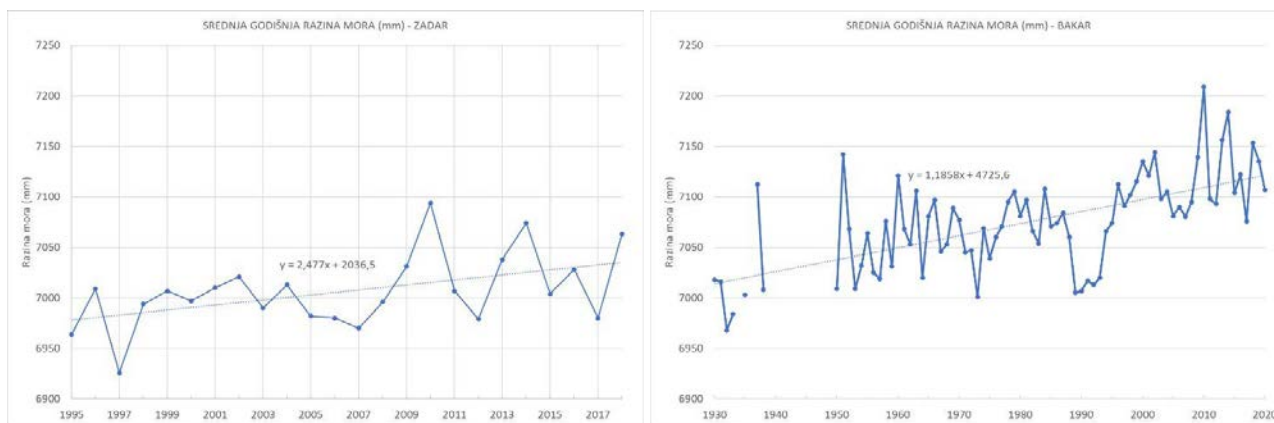
5.1. Rezultati monitoringa podzemnih voda na pilot području Bokanjac – Poličnik

Na pilot području Bokanjac – Poličnik geološke strukture omogućuju direktan kontakt slatke i zaslanjene vode u krškom priobalnom vodonosniku. S jedne strane na tu labilnu ravnotežu utječu dotoci u vodonosniku kao rezultat oborina i infiltracije u zoni prihranjivanja vodonosnika, a na drugu promjene razina mora. Sustav monitoringa je uspostavljen sa svrhom praćenja ponašanja zone miješanja koja se formira upravo na kontaktu slatke i zaslanjene vode. S druge strane, vrlo bitan element koji utječe na ponašanje zone miješanja slatke i slane vode je promjena razine mora. Promjena razine mora na dnevnoj razini, odnosno morske mijene, utječu vrlo malo na sam slatkovodni sustav jer se radi o vrlo malim oscilacijama i promjenama. Ipak, promjena razine mora uslijed plime i oseke osjeti se i vrlo duboko unutar priobalnog vodonosnika. Neki dijelovi vodonosnika reagiraju jače na morske mijene, neki slabije, a veličina tih oscilacija nam govori o dijelovima vodonosnika sa jačom i slabijom vezom slatkovodnog sustava i mora.

Na području sliva Bokanjac – Poličnik utjecaj promjene razine mora zbog morskih mijena na slatkovodne priobalne sustave analiziran je temeljem podataka kontinuiranih mjerenja razine podzemne vode i razine mora u sklopu studije „definiranje kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja“ (Biondić et al., 2019). Pri tome je bilo potrebno odabrati vremenski razdoblje u kojem nije bilo crpljenja koje bi utjecalo na razine podzemne vode u zoni crpilišta. Usporednom analizom promjena razina mora i razine podzemne vode na vodocrpilištu Jezerce ustanovljeno je kašnjenje promjene razine mora na crpilištu Jezerce u odnosu na morske mijene od 10 sati i 40 minuta, dok su na vodocrpilištu Boljkovac amplitude promjena razina podzemne vode znatno manje nego na Jezercu, ali je i kašnjenje nešto dulje (12,1 sati) (Biondić et al., 2022). Intenziteti morskih mijena bili su nekoliko desetaka cm između plime i oseke na samom mareografu, na crpilištu Jezerce amplituda

razina uzorkovana morskim mijenama je iznosila maksimalno 5 cm, a na Boljkovcu svega 1-2 centimetara. To se tumači znatno jačom dinamikom dijela sliva od Bokanjačkog blata prema Zatonu nego dijela sliva od crpilišta Oko prema Boljkovcu, ali i većom otvorenošću geoloških struktura u dijelu sliva prema Bokanjačkom blatu.

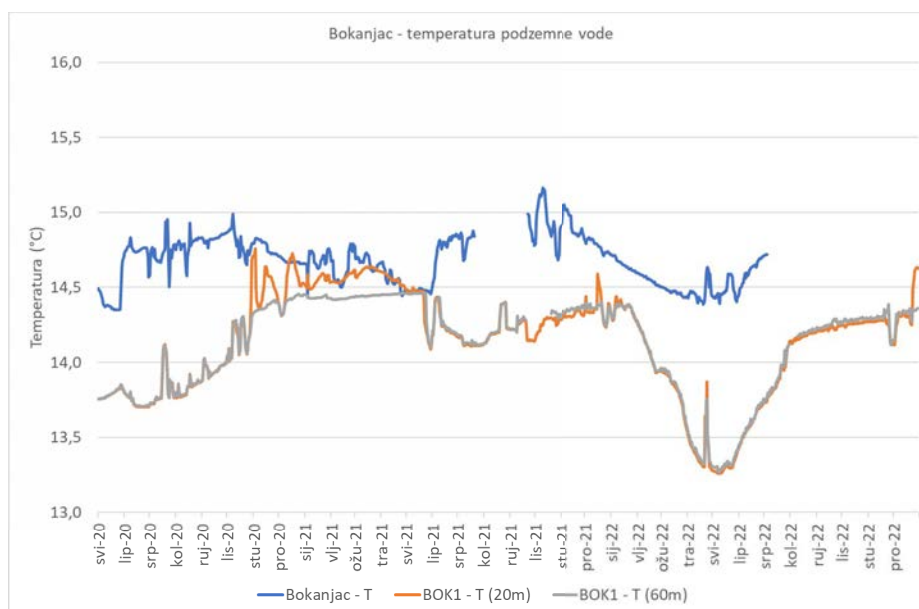
Dugogodišnje promjene razine mora imaju vrlo veliki utjecaj na položaj i ponašanje zone miješanja slatke i slane vode u priobalnim vodonosnicima. One su direktan rezultat klimatskih promjena, topljenja ledenog omotača i globalnog rasta razine mora.



Slika 5.1-1. Srednja godišnja razina mora na mareografima Zadar (lijevo) i Bakar (desno)

Na mareografu Zadar ustanovljen je uzlazni trend povišenja srednjih godišnjih razina mora u nizu podataka od 1995. do 2017. godine (Slika 5.1-1, lijevo). U navedenom razdoblju izmjereno je povišenje srednje godišnje razine mora na postaji Zadar od 10-tak centimetara. Na mareografu Bakar, koji se nalazi u sjevernom dijelu Hrvatskoga primorja, niz podataka je duži i obuhvaća razdoblje od 1930. do 2020. godine. I na toj mjernoj lokaciji zabilježen je porast srednjih godišnjih razina mora (Slika 5.1-1, desno).

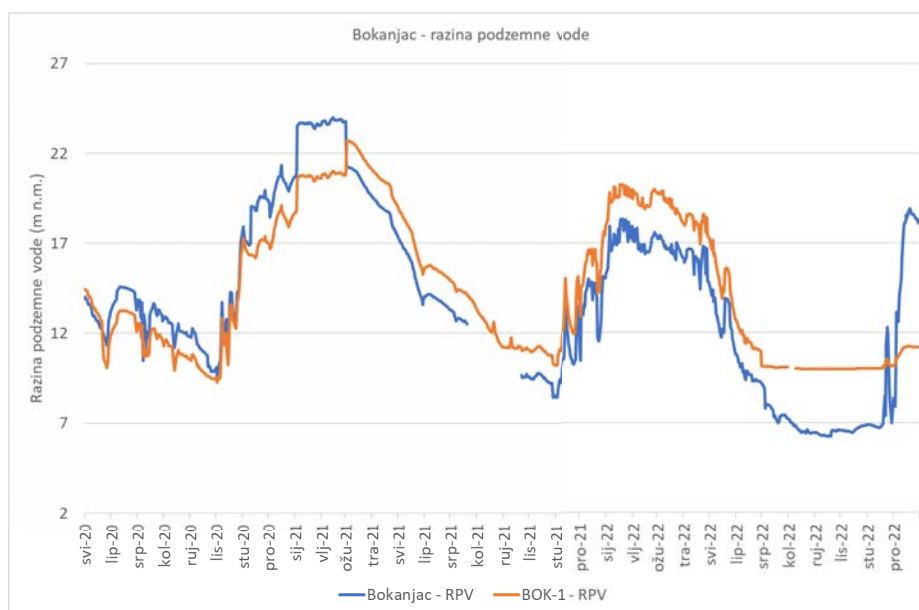
Na **vodocrpilištu Bokanjac**, koji se od svih opažanih vodocrpilišta nalazi najuzvodnije u slivu, te najudaljenije od mora, najmanji je utjecaj mora ili mogućnost zaslanjenja.



Slika 5.1-2. Temperatura podzemne vode na vodocrpilištu Bokanjac

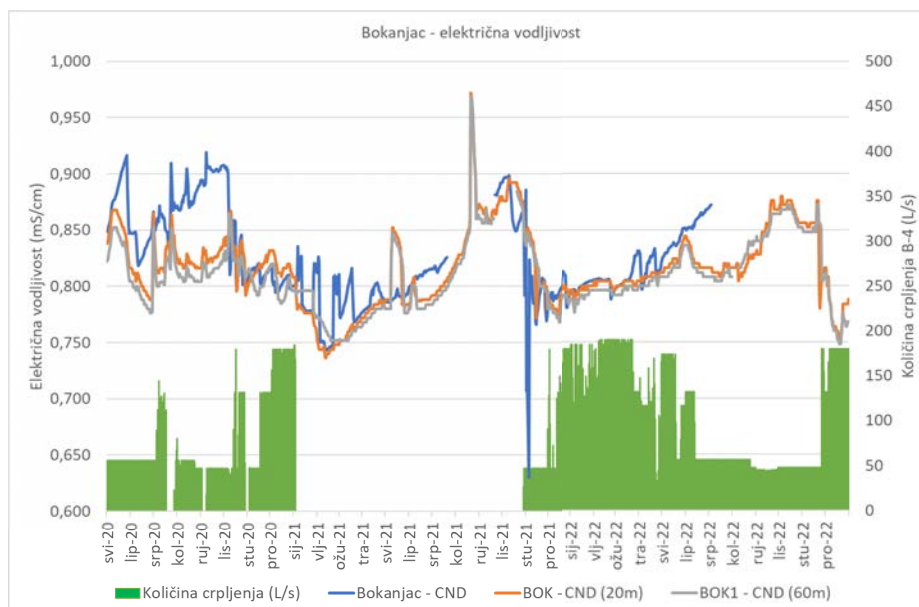
U vrijeme trajanja projekta UKV (1.5.2020.-31.12.2022.) temperatura vode u vodoopskrbnom zdencu kretala se je u rasponu od 14,4 do 15,2 °C (Slika 5.1-2). U piezometarskoj bušotini temperatura na dubini od 20 m ispod srednje razine mora i 60 m ispod srednje razine mora kretale su se u rasponu od 13,3 do 14,7 °C gotovo ujednačeno na obje dubine.

Razine podzemnih voda na vodocrpilištu Bokanjac i u piezometarskoj bušotini BOK-1, smještenoj neposredno uz zdenac B-4 crpilišta Bokanjac, također su bile ujednačene uz povišenje razine tijekom kišnih razdoblja, odnosno snižavanju razina podzemne vode tijekom ljetnih sušnih razdoblja (Slika 5.1-3).



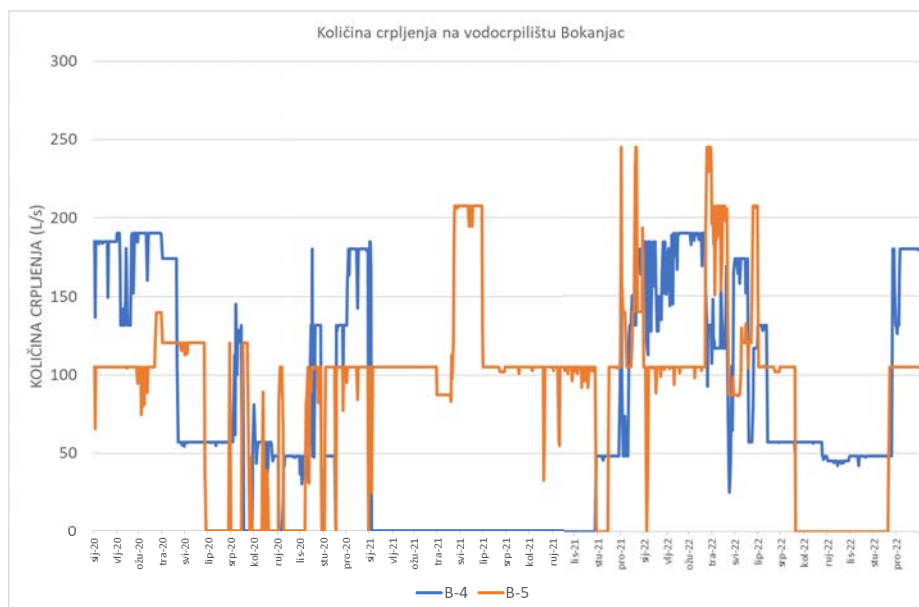
Slika 5.1-3. Razine podzemne vode na vodocrpilištu Bokanjac

Vrijednost električne vodljivosti na vodocrpilištu Bokanjac iznosila je kroz cjelokupno razdoblje trajanja projekta između 0,74 i 0,97 mS/cm (Slika 5.1-4). U navedenom razdoblju izmjereno je i sniženje vrijednosti električne vodljivosti na vodoopskrbnom zdencu na 0,63 mS/cm (5.11.2021.) što se tumači kao posljedica jakih oborina u tom razdoblju. Zdenac B-4 je tijekom razdoblja od 1.5.2020. do 31.12.2022. korišten za potrebe javne vodoopskrbe s crpljenjem maksimalnih količina od 200 L/s. Crpljenje je obustavljeno tijekom razdoblja od siječnja do studenoga 2021. godine (Slika 5.1-4).



Slika 5.1-4. Električna vodljivost na zdencu B-4 i piezometarskoj bušotini BOK-1 i crpljenje na zdencu B-4 (vodocrpilište Bokanjac)

Na vodocrpilištu Bokanjac, osim vodoopskrbnog zdenca B-4, u sustav javne vodoopskrbe uključen je i zdenac B-5, koji se nalazi stotinjak metara istočnije od zdenca B-4. Crpke se kombinirano uključuju iz centralne sobe crpilišta na oba zdenca (Slika 5.1-5). U razdoblju kada je bilo obustavljeno crpljenje na zdencu B-4, kontinuirano je crpljeno iz zdenca B-5 s količinama od 105 L/s, odnosno čak 208 L/s (Slika 5.1-5).

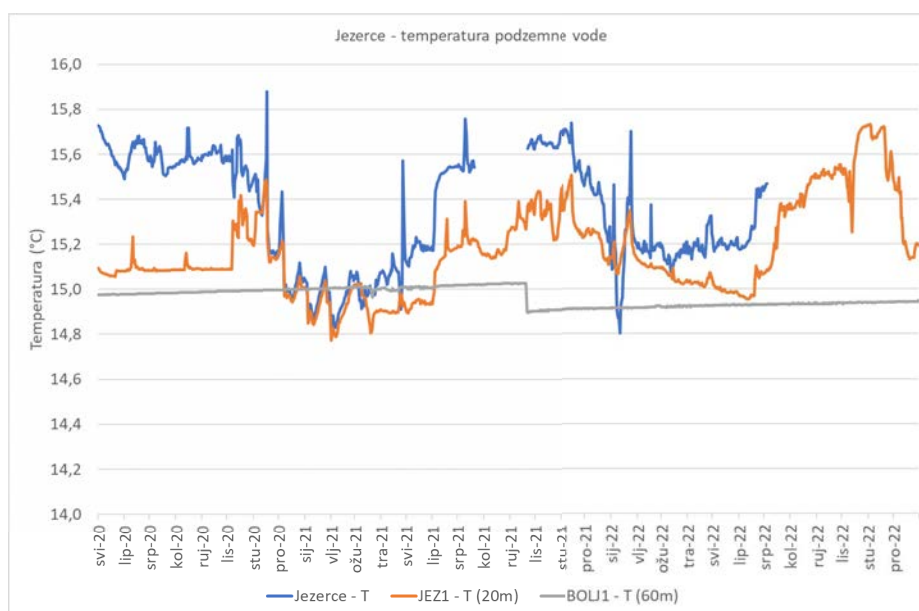


Slika 5.1-5. Količina crpljenja na vodocrpilištu Bokanjac (zdenci B-4 i B-5)

Na vodocrpilištu Bokanjac, tijekom cijelog razdoblja trajanja projekta nije zabilježeno povišenje vrijednosti električne vodljivosti koja bi upućivala na utjecaj zaslanjenja, uz napomenu da su vrijednosti električne vodljivosti na dubini od 20 m i na dubini od 60 m bile gotovo izjednačene što upućuje da u dubljim dijelovima vodonosnika nije ustanovljeno postojanje zone miješanje slane i slatke vode.

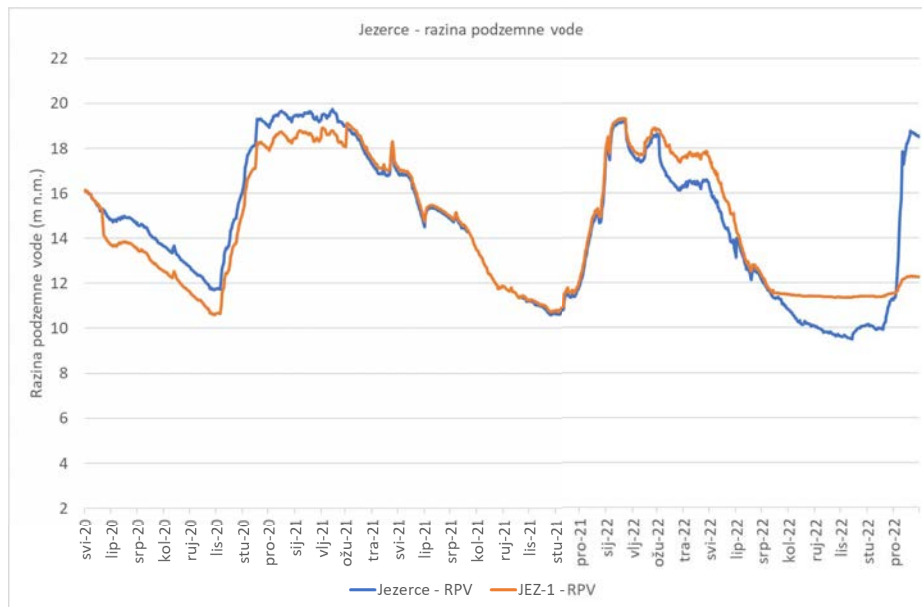
Na **vodocrpilištu Jezerce**, koje se nalazi nešto bliže obalnoj zoni ovoga priobalnoga vodonosnika, uočeno je postojanje zone miješanja slane i slatke vode i njena dinamika iako tijekom razdoblja trajanja projekta UKV nije zabilježeno zaslanjenje ovoga vodoopskrbnog objekta.

Temperatura podzemne vode na crpilištu Jezerce kretala se je 14,8 do 15,8 °C, a vrlo slično ponašanje pripovršinske zone vodonosnika izmjereno je i na dubini od 20 m na piezometarskoj bušotini JEZ-1 (**Slika 5.1-6**). U dubokoj zoni vodonosnika (60 m dubine) izmjerena je ujednačena temperatura oko 15 °C.



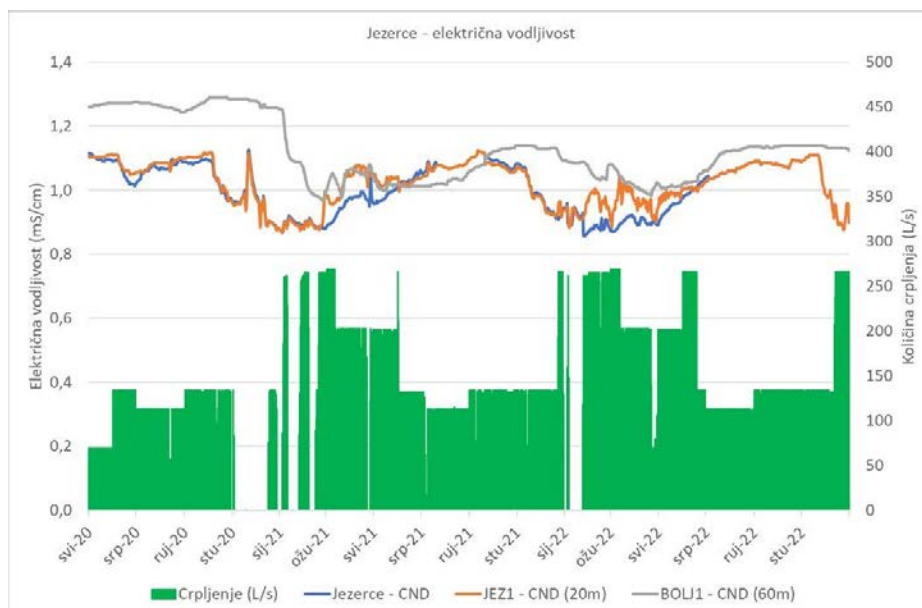
Slika 5.1-6. Temperatura podzemne vode na vodocrpilištu Jezerce

Razine podzemnih voda na vodocrpilištu Jezerce i u piezometarskoj bušotini JEZ-1, smještenoj neposredno uz vodoopskrbni zdenac crpilišta Jezerce, bile su ujednačene uz povišenje razine tijekom kišnih razdoblja, odnosno snižavanje razina podzemne vode tijekom ljetnih sušnih razdoblja (Slika 5.1-7).



Slika 5.1-7. Razina podzemne vode na vodocrpilištu Jezerce

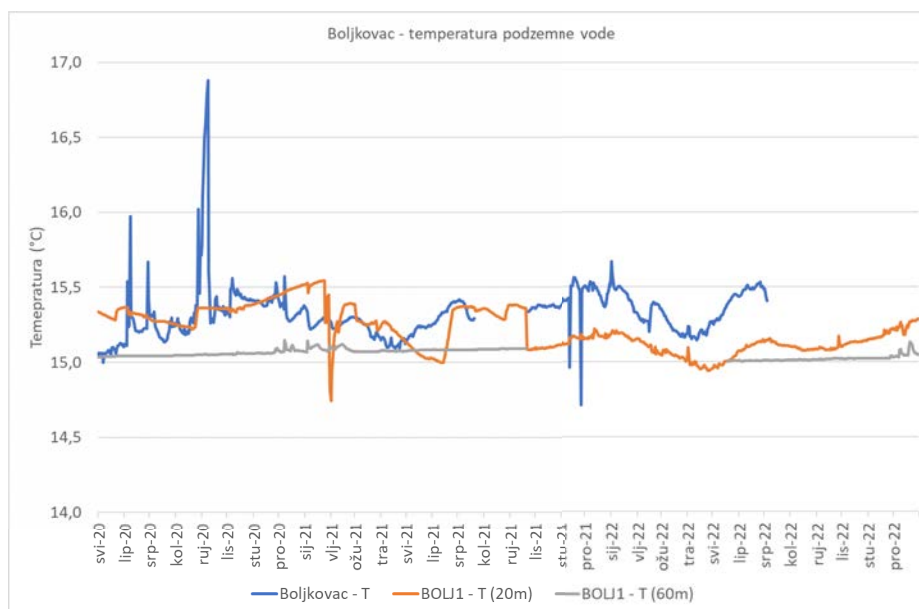
Električna vodljivost vodocrpilištu Jezerce i na piezometarskoj bušotini JEZ-1 pokazuje nešto veći utjecaj zaslanjenja od vodocrpilišta Bokanjac. Naime, na vodoopskrbnom zdencu vodocrpilišta Jezerce tijekom vremena monitoringa izmjerene su vrijednosti električne vodljivosti u rasponu od 0,86 do 1,1 mS/cm (Slika 5.1-8). Slične vrijednosti izmjerene su i u pripovršinskoj zoni (20 m dubine) u piezometarskoj bušotini JEZ-1. Nešto povišene vrijednosti električne vodljivosti izmjerene su u dubljem dijelu vodonosnika (dubina 60 m) gdje su se kretale u rasponu od 0,97 do 1,29 mS/cm ukazujući da se u dubljim dijelovima vodonosnika nalazi blago zaslanjena zona, odnosno zona miješanja slatke i slane vode. Za dobivanje potpune slike ponašanja zone miješanja potrebno je izvođenje dublje piezometarske bušotine, jer postojeća „ulazi“ samo u vršni dio te zone.



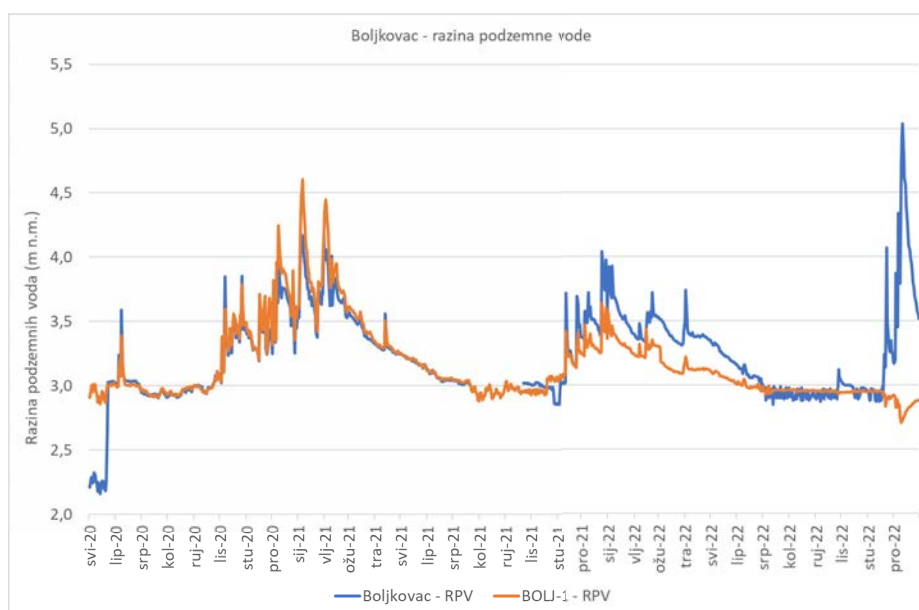
Slika 5.1-8. Električna vodljivost te količina crpljenja na zdencu i električna vodljivost na piezometarskoj bušotini JEZ-1 na vodocrpilištu Jezerce

Gotovo cijelo vrijeme trajanja projekta UKV vodočrpilište Jezerce je bilo korišteno za potrebe javne vodoopskrbe s količinama od 69, 113, 134, 203 i 236 L/s (Slika 5.1-8) što nije bitno utjecalo na povišenje saliniteta u vodoopkrbnom zdencu.

Na vodočrpilištu Boljkovac temperatura podzemne vode kretala se prosječno oko 15,3 °C (Slika 5.1-9), uz nekoliko izmjerenih pikova u rasponu od 14,7 do 16,9 °C što se tumači utjecajem značajnih količina oborina.

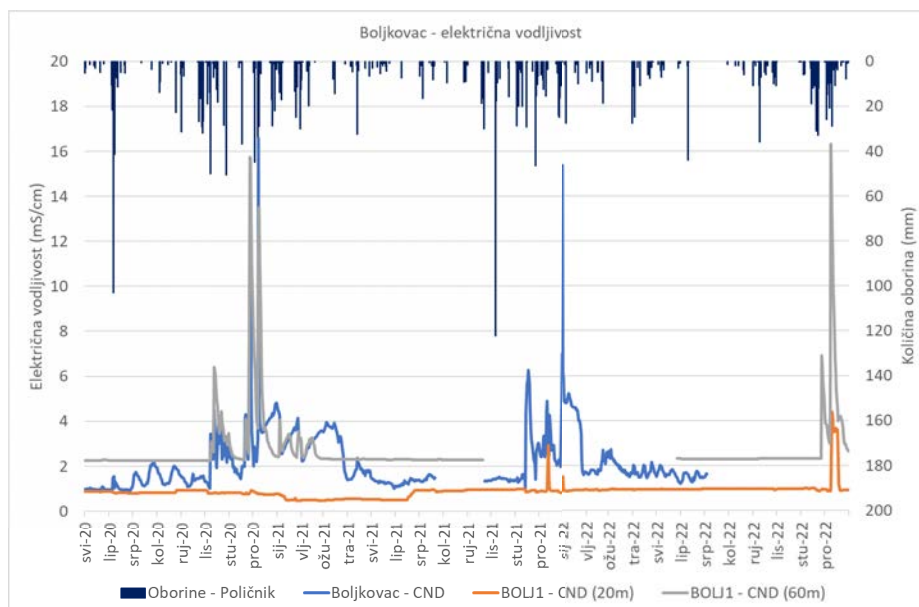


Slika 5.1-9. Temperatura podzemne vode na vodočrpilištu Boljkovac



5.1-10. Razine podzemnih voda na vodočrpilištu Boljkovac

Razine podzemnih voda na vodočrpilištu Boljkovac i u piezometarskoj bušotini BOLJ-1, smještenoj neposredno uz vodoopkrbni zdenac črpilišta Boljkovac, bile su ujednačene uz povišenje razine tijekom kišnih razdoblja, odnosno snižavanje razine podzemne vode tijekom ljetnih sušnih razdoblja (Slika 5.1-10). U sušnim razdobljima razina podzemne vode kreće se oko 3 m n.m., dok je u kišnim razdobljima razina nešto veća i raste do 5 m n.m.



Slika 5.1-11. Električna vodljivost na vodocrpilištu Boljkovac i u piezometarskoj bušotini BOLL-1 i količine oborina na kišomjernoj postaji Zadar-Poličnik

Od 1. svibnja 2020. do kraja 2022. godine vodocrpilište Boljkovac je izrazito zaslanilo u nekoliko navrata (Slika 5.1-11). U nastavku su navedena ta zaslanjenja:

- 13. listopada 2020. – vodoopskrbni zdenac: 4,49 mS/cm, BOLL-1 na 60 metara dubine: 6,41 mS/cm, BOLL-1 na 20 m dubine: vrijednost električne vodljivosti (EC) bila u razini prosjeka (0,82 mS/cm);
- 27. studenoga 2020. – vodoopskrbni zdenac: 11,57 mS/cm, BOLL-1 na 60 m dubine: 15,75 mS/cm, BOLL-1 na 20 m dubine: 0,94 mS/cm (neznatan porast vrijednosti EC)
- 8. prosinca 2020. – vodoopskrbni zdenac: 16,57 mS/cm, BOLL-1 na 60 m dubine: 13,50 mS/cm, BOLL-1 na 20 m dubine: 0,79 mS/cm (nije izmjereno zaslanjenje),
- 17. studenoga 2021. – vodoopskrbni zdenac: 6,28 mS/cm, BOLL-1 na 60 m dubine: prekid u mjerenjima, BOLL-1 na 20 m dubine: 0,88 mS/cm (neznatan porast vrijednosti EC),
- 1. siječnja 2022. – vodoopskrbni zdenac: 15,36 mS/cm, BOLL-1 na 60 m dubine: prekid u mjerenjima, BOLL-1 na 20 m dubine: 0,87 mS/cm (neznatan porast vrijednosti EC),
- 27. studenoga 2022. – vodoopskrbni zdenac: prekid u mjerenjima, BOLL-1 na 60 m dubine: 6,89 mS/cm, BOLL-1 na 20 m dubine: 0,95 mS/cm (neznatan porast vrijednosti EC),
- 9.-10. prosinca 2022. – vodoopskrbni zdenac: prekid u mjerenjima, BOLL-1 na 60 m dubine: 16,29 mS/cm, BOLL-1 na 20 m dubine: 4,38 mS/cm.

U razdoblju provedbe projekta UKV na vodocrpilištu Boljkovac nije crpljeno za potrebe javne vodoopskrbe, sva zaslanjenja dogodila su se u potpuno prirodnim uvjetima kao rezultat potiskivanja zaslanjene vode iz krškog podzemlja uslijed jakih oborina. U razdoblju od početka 2017. do kraja 2019. godine također je dolazilo do nekoliko povišenja vrijednosti električne vodljivosti (zaslanjenja) i to tijekom kišnih razdoblja. U tim razdobljima nije bilo crpljenja dok je crpljenje provođeno tijekom ljetnih sušnih razdoblja do maksimalno crpljenih količina od 47 L/s, ali to crpljenje nije uzrokovalo povišenja vrijednosti električne vodljivosti na mjerenim točkama (zdenac, bušotina BOLL-1 po dubini vodonosnika), odnosno promjene ponašanja zone miješanja slane i slatke vode u krškom podzemlju (Biondić et al., 2019).

5.2. Rezultati monitoringa podzemnih i površinskih voda na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu

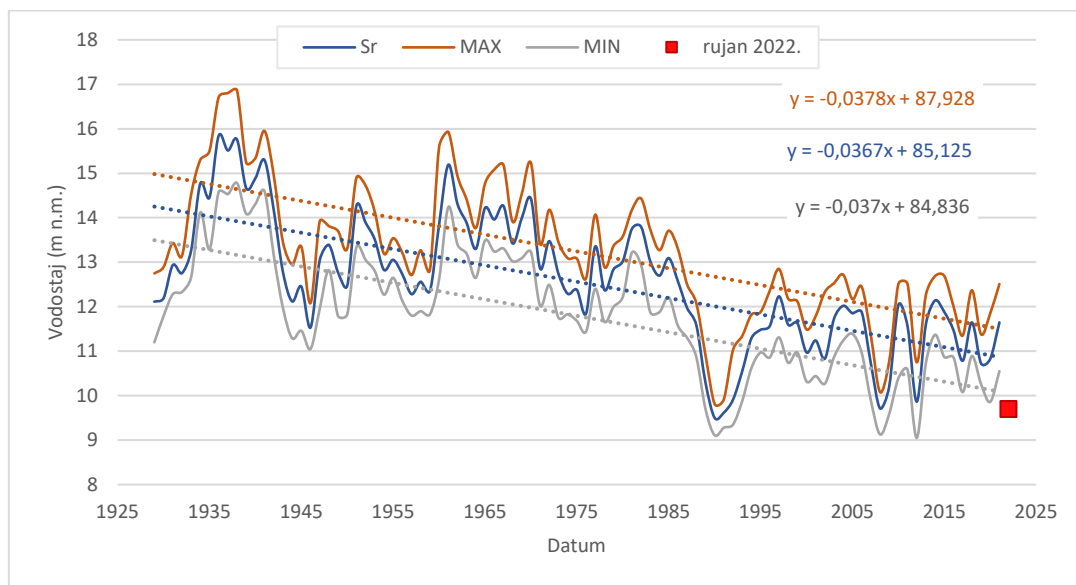
5.2.1. Monitoring površinskih voda

U Tablici 5.2-1 dan je prikaz unutar godišnje raspodjele karakterističnih mjesečnih i godišnjih srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja u Vranskom jezeru u razdoblju od 1929. do 2021. godine. Radi usporedbe, u tablici su prokazani srednji mjesečni vodostaji tijekom razdoblja trajanja projekta (6.2020.-9.2022.). Dan je i prikaz godišnjeg hoda srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru, kao i njihovi pripadajući trendovi za isto razdoblje (Slika 5.2-1). Također na grafu je prikazan vodostaj (crvena kockica) zabilježen krajem rujna 2022. godine, koji iznosi 9,70 m n.m.

Tablica 5.2-1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja (m n.m.) na Vranskom jezeru (1929.-2021.)

| Mjesec | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Srednji vodostaj (m n.m.) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 12,63 | 12,77 | 12,89 | 12,93 | 12,91 | 12,80 | 12,59 | 12,33 | 12,14 | 12,10 | 12,21 | 12,42 | 12,56 |
| Stdev | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,51 | 1,51 | 1,50 | 1,48 | 1,45 | 1,43 | 1,43 | 1,45 | 1,48 | 1,44 |
| Cv | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| Max | 16,82 | 16,76 | 16,66 | 16,64 | 16,44 | 16,37 | 16,11 | 15,66 | 15,25 | 15,37 | 15,62 | 16,47 | 15,84 |
| Min | 9,48 | 9,57 | 9,61 | 9,62 | 9,78 | 9,74 | 9,57 | 9,31 | 9,14 | 9,11 | 9,18 | 9,26 | 9,50 |
| 2020 | | | | | | 10,64 | 10,38 | 10,15 | 9,96 | 10,44 | 11,05 | 11,59 | 10,83 |
| 2021 | 12,06 | 12,43 | 12,44 | 12,32 | 12,21 | 11,98 | 11,69 | 11,36 | 11,04 | 10,81 | 10,63 | 10,79 | 11,65 |
| 2022 | 11,03 | 11,01 | 10,87 | 10,77 | 10,70 | 10,54 | 10,24 | 9,93 | 9,70 | | | | |
| Maksimalni vodostaj (m n.m.) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 12,73 | 12,87 | 12,97 | 12,99 | 12,97 | 12,89 | 12,72 | 12,46 | 12,26 | 12,21 | 12,35 | 12,55 | 13,24 |
| Stdev | 1,50 | 1,50 | 1,52 | 1,52 | 1,51 | 1,51 | 1,49 | 1,46 | 1,44 | 1,43 | 1,47 | 1,50 | 1,51 |
| Cv | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| Max | 16,86 | 16,84 | 16,71 | 16,69 | 16,55 | 16,42 | 16,27 | 15,90 | 15,42 | 15,41 | 15,95 | 16,80 | 16,86 |
| Min | 9,52 | 9,64 | 9,65 | 9,64 | 9,81 | 9,77 | 9,67 | 9,46 | 9,20 | 9,18 | 9,22 | 9,30 | 9,81 |
| Minimalni vodostaj (m n.m.) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 12,51 | 12,66 | 12,79 | 12,87 | 12,84 | 12,71 | 12,46 | 12,20 | 12,04 | 11,99 | 12,08 | 12,29 | 11,79 |
| Stdev | 1,50 | 1,50 | 1,49 | 1,50 | 1,51 | 1,49 | 1,48 | 1,45 | 1,43 | 1,43 | 1,43 | 1,47 | 1,38 |
| Cv | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| Max | 16,78 | 16,66 | 16,55 | 16,55 | 16,36 | 16,27 | 15,91 | 15,43 | 15,14 | 15,27 | 15,38 | 15,96 | 14,78 |
| Min | 9,32 | 9,48 | 9,57 | 9,59 | 9,62 | 9,67 | 9,46 | 9,20 | 9,09 | 9,05 | 9,13 | 9,20 | 9,05 |

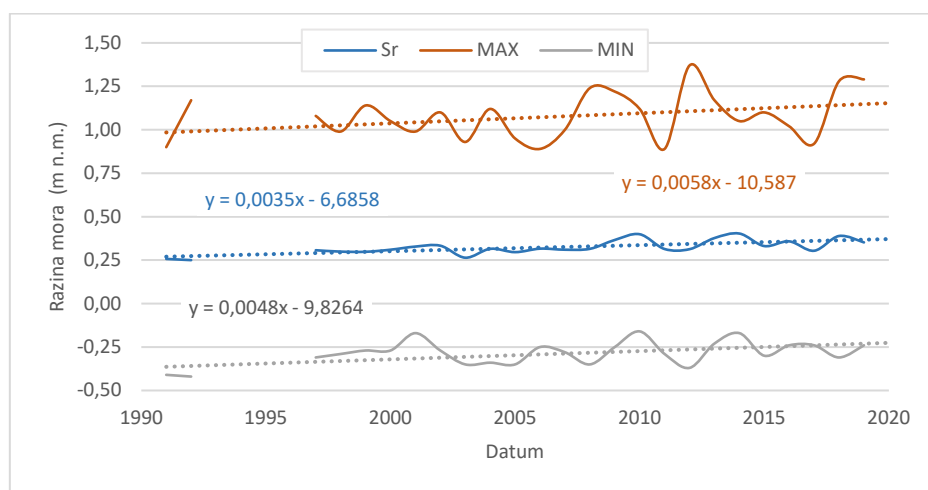
Vidljivo je da na godišnjoj vremenskoj skali Vransko jezero oscilira u relativno uskim granicama, s time da je najveća zabilježena godišnja amplituda 2,97 m (1960.), a najmanja svega 0,64 m (1991.). No, na prikazanoj višegodišnjoj vremenskoj skali rasponi ukupno zabilježenih amplituda kolebanja su puno veći – čak 7,81 m. Prva izraženija povijesna minimalna razina vode u jezeru zabilježena je 1990. (9,11 m n.m.), a još niža 9,05 m n.m. zabilježena je tijekom ekstremno sušne 2012. godine, dok je maksimalna razina vode u jezeru od 16,86 m n.m. zabilježena davne 1938. godine.



Slika 5.2-1. Godišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru, kao i njihovi pripadajući trendovi (1929.-2021.)

Sa **slike 5.2-1** vidljivo je da su zabilježeni iznimno izraziti trendovi opadanja razine vode kod svih tri karakterističnih godišnjih razina vode – trend od 3,7 m/100 god kod minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja, te 3,8 m/100 god kod maksimalnih godišnjih razina vode. Također je vidljivo da nagli trend opadanja razina vode u jezeru je posebno izražen u drugoj polovici osamdesetih godina prošlog stoljeća. Sve do tada minimalna razina vode nije se spuštala ispod 11 m n.m., a od 1988. samo je tijekom četiri godine minimalna razina bila iznad te vrijednosti. Vidljivo je i da je i na kraju trajanja projekta (rujan 2022.), razina u jezeru vrlo niska i iznosi svega 9,70 m n.m.

Dan je i prikaz godišnjeg hoda srednjih, maksimalnih i minimalnih razina mora na postaji Martinšćica, kao i njihovi pripadajući trendovi za razdoblje od 1991. do 2019. godine. (Slika 5.2-2). Tijekom 2020. i 2021. godine dio podataka nedostaje te je iz tog razloga hod prikazan do kraja 2019. godine. Vidljivo je da su zabilježeni suprotni trendovi nego u Vranskom jezeru. Iako se radi o relativno kratkotrajnom nizu koga su karakterizirali i prekidi, očito je da su prisutni trendovi porasta razine mora od 0,48 m/10 god kod minimalnih, 0,35 m/100 god kod srednjih, te 0,58 m/100 god kod maksimalnih godišnjih razina mora.



Slika 5.2-2. Godišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih razina mora, kao i njihovi pripadajući trendovi na postaji Martinšćica (1991.-2019.)

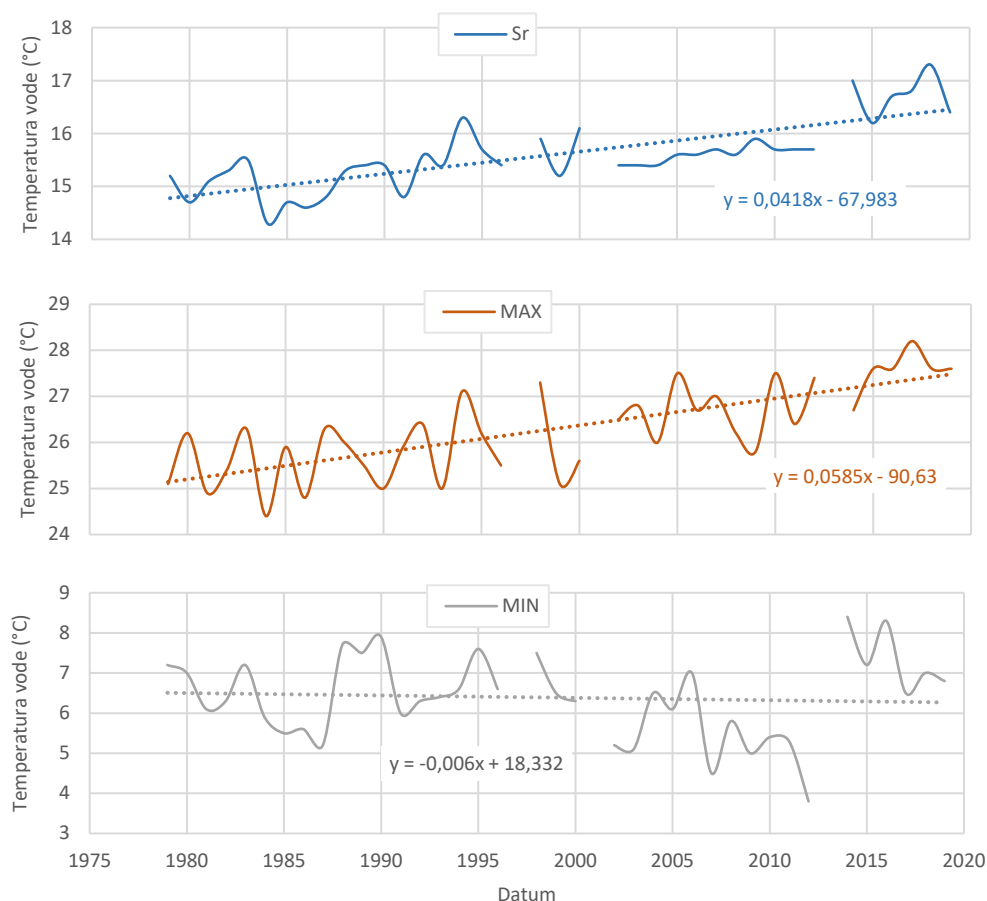
U **Tablici 5.2-2** dan je prikaz unutar godišnje raspodjele karakterističnih mjesečnih i godišnjih srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vode u Vranskom jezeru u razdoblju od 1979. do 2021. godine. Radi

usporedbe, u tablici su prokazani srednje mjesečne temperature vode tijekom razdoblja trajanja projekta (6.2020.-9.2022.). Na [slici 5.2-3](#) prikazan je hod srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih temperatura vode, kao i pripadajući trendovi, dok je na [slici 5.2-4](#) dana njihova unutar godišnja raspodjela za razdoblje od 1979. do 2019. godine.

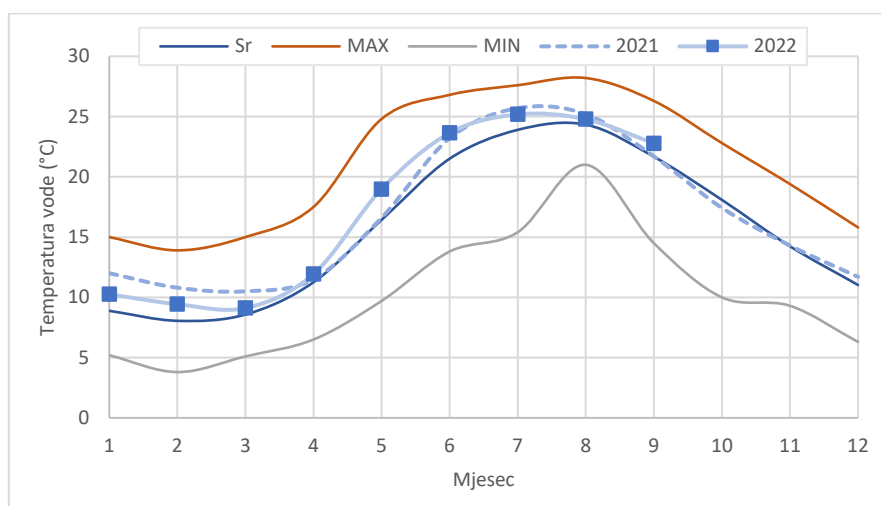
Tablica 5.2-2. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vode (°C) u Vranskom jezeru (1979.-2021.)

| Mjesec | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| Srednja temperatura vode (°C) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 8,9 | 8,1 | 8,6 | 11,3 | 16,4 | 21,5 | 23,9 | 24,3 | 21,7 | 18,1 | 14,2 | 11,0 | 15,6 |
| Stdev | 1,0 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 0,7 |
| Cv | 0,11 | 0,15 | 0,13 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,04 |
| Max | 12 | 11 | 10,6 | 13,8 | 20,2 | 25,1 | 25,7 | 26,4 | 24 | 20,4 | 16,4 | 13,6 | 17,3 |
| Min | 7 | 5,5 | 6,4 | 9 | 12,4 | 18,5 | 21,8 | 22,8 | 20 | 16,4 | 12,2 | 8,2 | 14,3 |
| 2020 | | | | | | 21 | 24,2 | 25,6 | 23,1 | 19,4 | | | |
| 2021 | 12 | 10,8 | 10,5 | 11,5 | 16,6 | 23,2 | 25,7 | 25,2 | 21,7 | 17,43 | 14,3 | 11,7 | 16,72 |
| 2022 | 10,3 | 9,43 | 9,11 | 11,9 | 18,9 | 23,6 | 25,2 | 24,8 | 22,8 | | | | |
| Maksimalna temperatura vode (°C) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 10,7 | 9,8 | 10,6 | 14,0 | 19,9 | 24,5 | 25,8 | 26,0 | 23,8 | 20,4 | 16,4 | 13,0 | 26,3 |
| Stdev | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 1,0 |
| Cv | 0,14 | 0,17 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,04 |
| Max | 15 | 13,9 | 15 | 17,5 | 24,8 | 26,8 | 27,6 | 28,2 | 26,3 | 22,8 | 19,4 | 15,8 | 28,2 |
| Min | 8,3 | 7,2 | 8,4 | 10,5 | 15,2 | 20,8 | 23,3 | 24,2 | 21,8 | 18,5 | 13,5 | 9,9 | 24,4 |
| Minimalna temperatura vode (°C) | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 7,4 | 6,7 | 7,2 | 9,1 | 13,3 | 18,6 | 21,8 | 22,6 | 19,4 | 15,4 | 12,0 | 9,1 | 6,4 |
| Stdev | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 1,5 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 1,0 |
| Cv | 0,15 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,08 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,16 |
| Max | 10,5 | 9,8 | 9,3 | 12,1 | 16,2 | 23 | 24,8 | 25,1 | 21,8 | 18,5 | 15 | 11,4 | 8,4 |
| Min | 5,2 | 3,8 | 5,1 | 6,5 | 9,7 | 13,8 | 15,4 | 21 | 14,5 | 10 | 9,3 | 6,3 | 3,8 |

Za cijelo razdoblje opažanja, srednja godišnja temperatura vode iznosi 15,6°C, maksimalna 28,2°C, te minimalna 3,8°C. Sa [Slike 5.2-3](#) vidljiv je izraziti trend povećanja temperatura vode u jezeru, i to srednjih godišnjih od 4,2°C/100 god, a maksimalnih od čak 5,6°C /100 god. Kod minimalnih godišnjih temperatura vode prisutan je trend smanjenja od 0,6°C/100 god. Sa [slike 5.2-4](#) je vidljivo da se minimalne mjesečne temperature vode javljaju u mjesecu veljača, dok se maksimalne javljaju u kolovozu. Prisutne su i velike oscilacije u temperaturama vode. Najveća zabilježena godišnja amplituda iznosi 23,6°C (2012.g), a najmanja 17,1°C (1990.). Vidljivo je da tijekom 2020. i 2021. godine srednja mjesečna temperatura tijekom svih mjeseci veća od srednje mjesečne za razdoblje 1979.-2021. i to prosječno za 1,2°C, a samo je tijekom listopada 2020. malo niža od višegodišnjeg prosjeka.

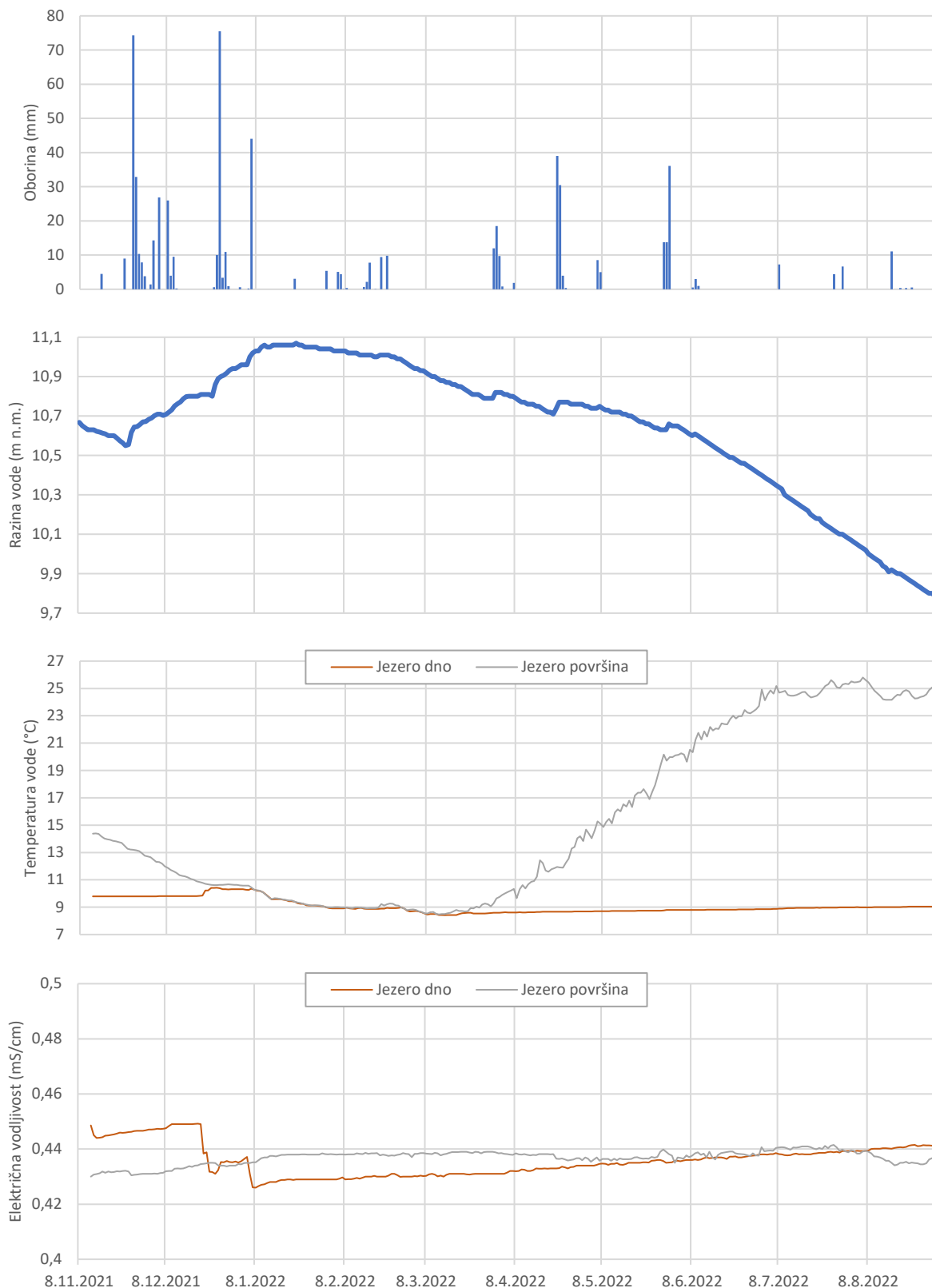


Slika 5.2-3. Godišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vode u Vranskom jezeru, kao i njihovi pripadajući trendovi (1979.-2019.)



Slika 5.2-4. Unutar godišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vode u Vranskom jezeru (1979.-2019.) u usporedbi sa mjesečnim podacima za 2021. i 2022. godinu

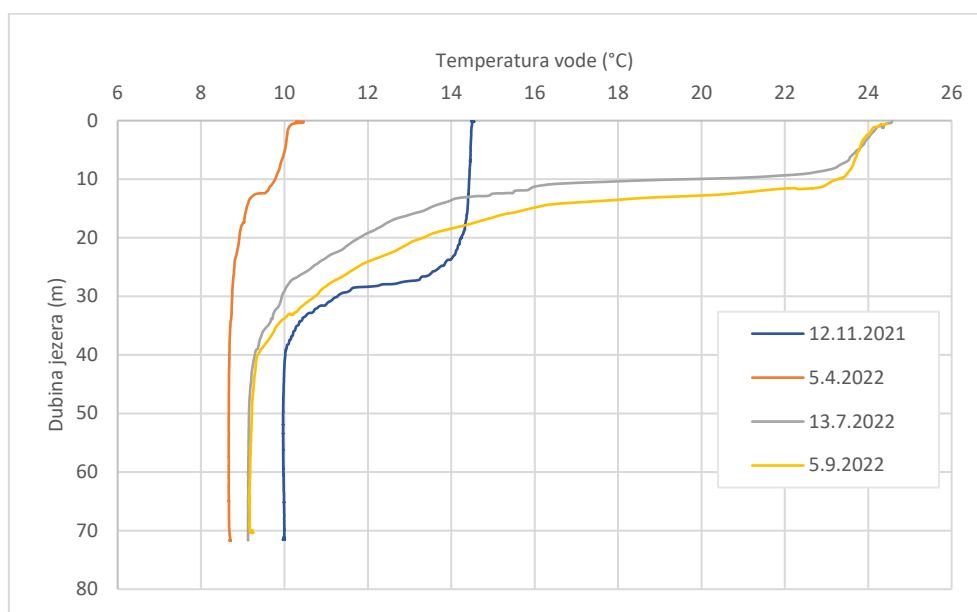
Na **slici 5.2-5** prikazani su rezultati o razini vode, temperaturi i električnoj vodljivosti u jezeru. Radi usporedbe, na slici su dani i dnevne oborine sa postaje Vransko jezero. Sa slike je vidljivo da je temperatura vode tijekom cijelog razdoblja opažanja pri dnu konstantna (oko 9,1°C), dok se pri površini jako mijenja – najniža je u mjesecu travnju i iznosi 8,5°C, a najviša u kolovozu i iznosi 25,8°C. Električna vodljivost pri dnu i pri površini je vrlo slična i prosječno iznosi 0,43 mS/cm.



Slika 5.2-5. Prikaz razina vode, temperature i električne vodljivosti jezera i dnevnih oborina na postaji Vransko jezero (12.11.2021.-31.8.2022.)

Tijekom očitavanja podataka sa mjernih uređaja, simultano su u više navrata izmjerene i temperature vode po cijeloj dubini jezera, što je vidljivo na [slici 5.2-6](#). Temperature su izmjerene u prosincu 2021., te u travnju, srpnju i rujnu 2022. godine. Vidljiva je termalna stratifikacija jezera koja se razvija u toplom dijelu godine s najizraženijim temperaturama u epilimniju koje sežu pa ponekad i prelaze 25°C na jezerskoj površini. U jesen i početkom zime

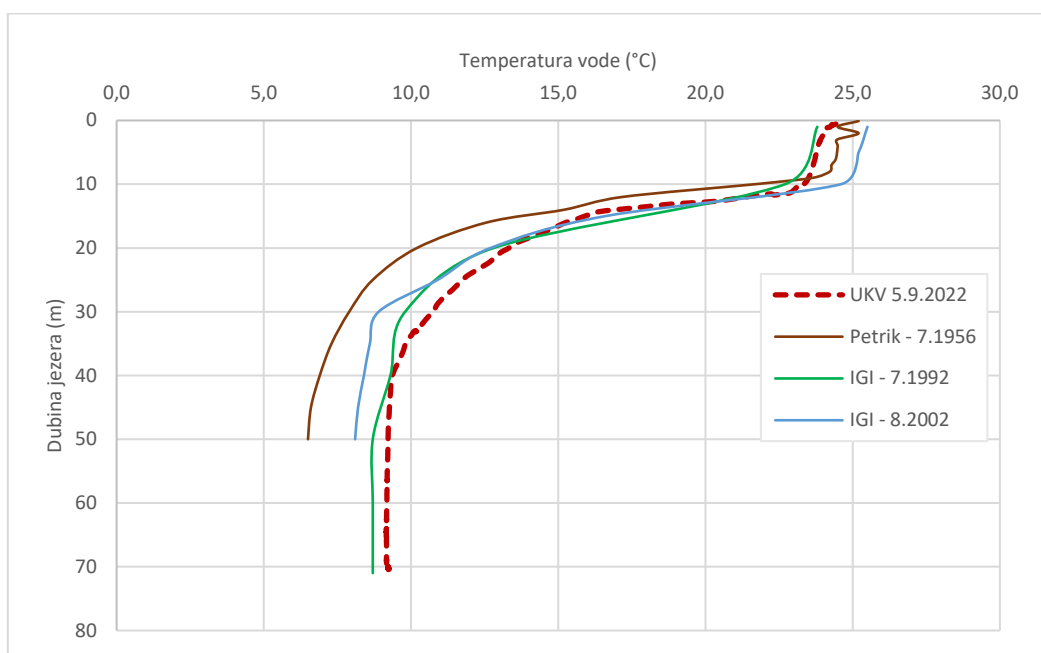
dolazi do postupnog hlađenja površinskog dijela jezera i prijenosa topline u dubinu te postupnog zagrijavanja hipolimnija, da bi krajem zime došlo i do potpunog miješanja jezera. Početkom proljeća počeo je ponovni proces zagrijavanja površinskog sloja jezera, koje zbog takvog sezonskog miješanja voda samo jednom tijekom godine imaju karakter monomiktičkog tipa jezera. Sa slike je vidljivo da je tijekom travnja vrlo mala razlika temperatura vode po cijeloj dubini jezera (razlika manja od 2°C). Površinski sloj vode prati sezonska kolebanja temperature zraka, u srednjem dijelu metalimniju dolazi do nagle promjene temperature (termoklina), koja tijekom ljetnih mjeseci iznosi i preko 10°C, dok donji sloj karakteriziraju ujednačene relativno niske temperature vode, koje unutar godine variraju samo za nekoliko °C. Vidljivo je da ispod 40 metara od površine jezera nema više naglijih gradijenata promjena u temperaturi voda ovisno o formiranju termokline i spuštanju toplije vode ka dnu, već su promjene temperature voda ujednačenije i ovise o dinamici miješanja vode s površine i dna.



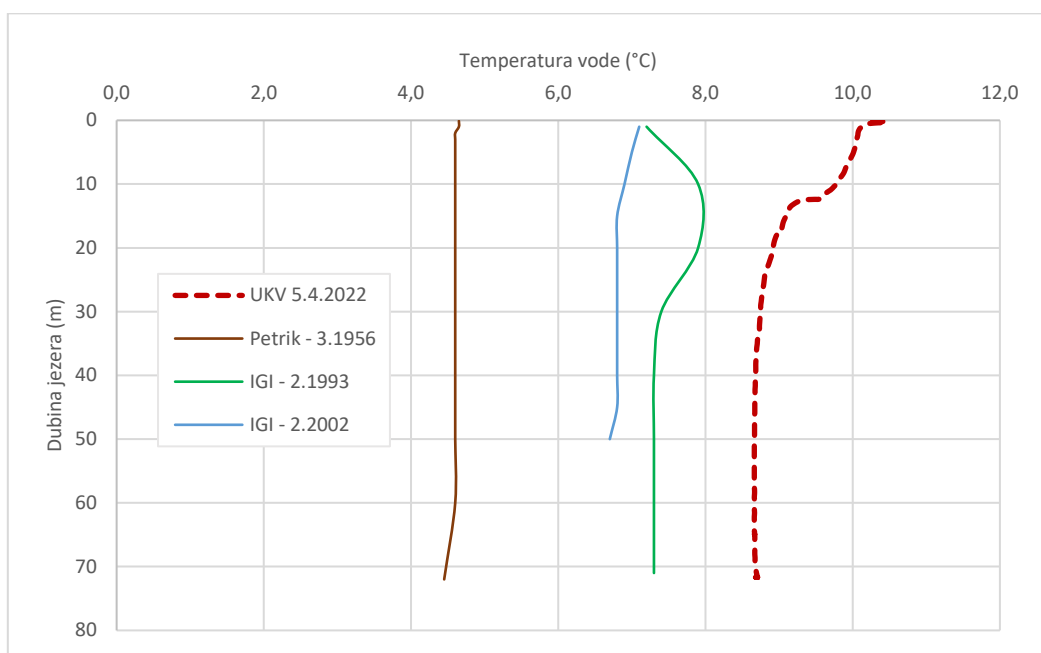
Slika 5.2-6. Temperature vode po dubini jezera

Temperature vode u jezeru su jedan od elemenata koji najeklatantnije može ukazivati na promjene klimatskih prilika na duljoj vremenskoj skali, posebno u slučajevima kada se radi o jezerima s razmjerno velikim volumenom pa su u njima manje izražene varijacije pod utjecajem lokalnih temperaturnih promjena na kraćoj vremenskoj skali. Mogućim promjenama temperatura vode Vranskog jezera bavio se Petrik (1960) koji je rezultate praćenja promjena temperatura vode po dubini jezera u različito doba godine iz 1954. i 1956. usporedio s rezultatima ranijih istraživača. Prvi koji je mjerio temperature vode u Vranskom jezeru bio je Lorenz još 1858. g., a sistematska mjerenja proveo je Gavazzi tijekom 1900. i 1901. g. (Gavazzi, 1931), ali nažalost samo do dubine od 16 m. Po navodu Petrika (1960), Casagrandi je mjerio temperaturni profil Vranskoga jezera 11.7.1927., a Nüman 1941. g., i to do dubine od 50 m, ali s premalim brojem točaka po vertikali.

Zbog toga je u ovom dokumentu provedena usporedba temperatura voda po dubini Vranskog jezera iz recentnog razdoblja istraživanja provedenih u okviru UKV projekta i ranijih dokumenta koji su imali cjelovitu registraciju temperatura i po dubini jezera, i u pogledu unutar godišnje raspodjele. Pored spomenutih Petrikovih mjerenja, obuhvaćena su i mjerenja koja je proveo Institut za geološka istraživanja tijekom 1992.-1994. (Biondić et al., 1994) i tijekom 2001.-2002. (Kuhta, 2002). Odabrana su mjerenja za dva karakteristična stanja – najveće temperature površinskog sloja jezera krajem ljeta kad je i najizrazitija termoklina (Slika 5.2-7), te stanje izotermije tijekom zime ili ranog proljeća (Slika 5.2-8).



Slika 5.2-7. Usporedni prikaz temperaturnog profila Vranskog jezera tijekom/krajem ljeta prema rezultatima mjerenja dosadašnjih istraživanja



Slika 5.2-8. Usporedni prikaz temperaturnog profila Vranskog jezera krajem zime/početak proljeća prema rezultatima mjerenja dosadašnjih istraživanja

Iz rezultata dosadašnjih istraživanja tijekom proteklih 67 godina, vidljivo je da se na zagrijavanju površinskog sloja vode tijekom ljetnog razdoblja ne primjećuju neke izraženije razlike u stupnju njegove zagrijanosti. No, zato su izraženije razlike u temperaturama vode tijekom jezerske izotermije – nakon miješanja vodnih masa. Tu je vidljivo trend povećanja temperature jezerske vode (praćeno u donjim dijelovima jezera obzirom da je u okviru UKV projekta mjerenje provedeno na samom početku ponovnog zagrijavanja jezerske površine). U vrijeme Petrikovih mjerenja 1956. godine temperatura se kretala oko 4,6 °C, IGI-jevih mjerenja 1993. oko 7,3 °C, IGI-jevih mjerenja 2002. oko 6,8 °C, a rezultati najnovijih mjerenja provedenih u okviru UKV projekta oko 8,7 °C, dakle čak oko 4 °C više nego li u vrijeme Petrikovih mjerenja. Naravno, temperature vode ovise i o varijacijama temperature zraka na unutar godišnjoj vremenskoj skali, stanja vjetrovnih prilika, temperaturama vode u prethodnom razdoblju,

razinama/volumenu vode u i slično. No, sigurno se dio istaknutih promjena temperature vode u Vranskom jezeru može pripisati i utjecaju već prisutnih manifestacija klimatskih promjena.

5.2.2. Monitoring podzemnih voda

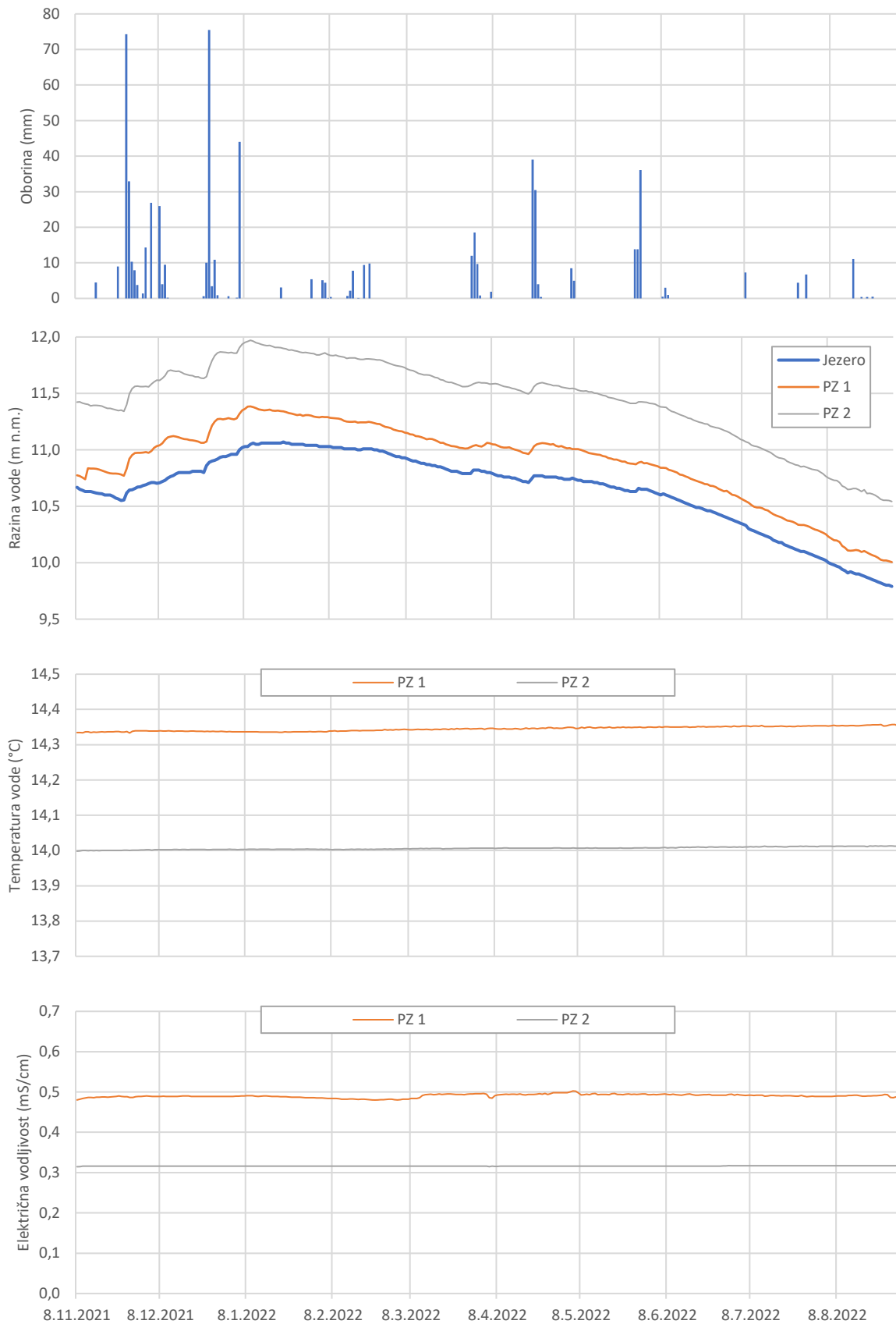
Rezultati monitoringa podzemnih voda u okviru predmetnog UKV projekta vezani su uz monitoring piezometara u zaleđu CS Vrana, kao i na mjestima istjecanja podzemnih voda u more – vrulju Vrutak i izvoru Lukavac. Na **slici 5.2-9** dan je prikaz međuodnosa razina voda na spomenutim piezometrima i u Vranskom jezeru, kao i njihovih temperatura i električnih vodljivosti. Valja napomenuti postojanje problema oko kota referentnih točaka na spomenutim piezometrima zbog nepouzdanosti raspoloživih geodetskih informacija o koti vrha cijevi bušotine kao i mogućih odstupanja piezometara od njihova vertikalnog položaja, pa izmjerene razine vode u piezometrima imaju karakter relativnih visina. bliskih stvarnoj apsolutnoj koti. No, i unatoč toga vidljivo je da i razina vode u jezeru i bušotinama ima vrlo sličan hod, te da u razdobljima porasta vodostaja razina vode na piezometru PZ-2 ima nešto veći porast zbog akumuliranja vode u vodonosniku.

Vidljivo je da su i temperatura vode i električna vodljivost vrlo slične u oba piezometra. U piezometru PZ-1 srednja temperatura vode iznosi 14,3°C, dok u piezometru PZ-2 iznosi nešto manje - 14°C, a što je posljedica blizine piezometra PZ-1 samom jezeru koje je toplije. Kod električne vodljivosti razlika je nešto malo veća, te u piezometru PZ-1 ona iznosi 0,490 mS/cm, a u piezometru PZ-2 0,316 mS/cm. Iako podzemne vode imaju uglavnom više vrijednosti električne vodljivosti u odnosu na površinske vode, u danom slučaju to i nije tako zbog okolnosti da se Vransko jezero zaslanjuje i posolicom nošenom vjetrovima s obližnjeg mora, te je stoga voda u piezometru bližem jezeru ima veći sadržaj klorida te posljedično i el. vodljivost.

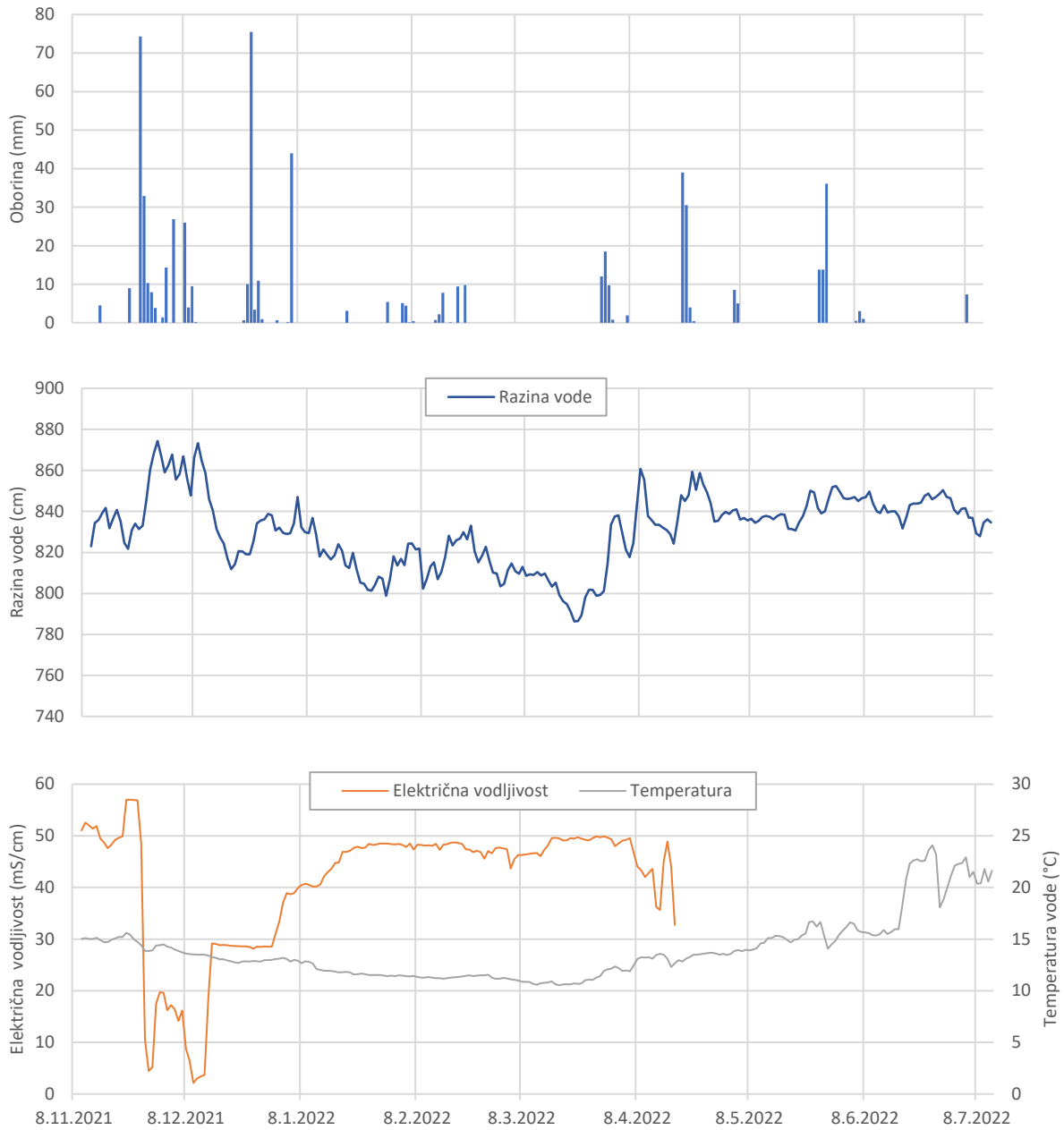
Rezultati monitoringa na vrulji Vrutak prikazani na **slici 5.2-10**. Vidljivo je da električna vodljivost varira od 2,2 mS/cm, što je vrlo slatka voda, do 57 mS/cm što je čisto more. Nagli skok slatke vode desio se tijekom prve polovice 12. mjeseca nakon obilnih kiša. Temperatura vode varira između 10,5 °C i 24,1°C.

Rezultati monitoringa istjecanja podzemnih voda na priobalnom izvoru Lukavac prikazani na **slici 5.2-11**. Vidljivo je da je temperatura vode vrlo slična od početka monitoringa do kraja travnja, kada kreću velike unutar dnevne oscilacije. Pri povećanju temperature zraka povećava se i temperatura mora koja iznosi maksimalnih 26,2°C. No unutar dana temperatura mora se mijenja pod utjecajem plime i oseke i sam time istjecanja vode iz izvora.

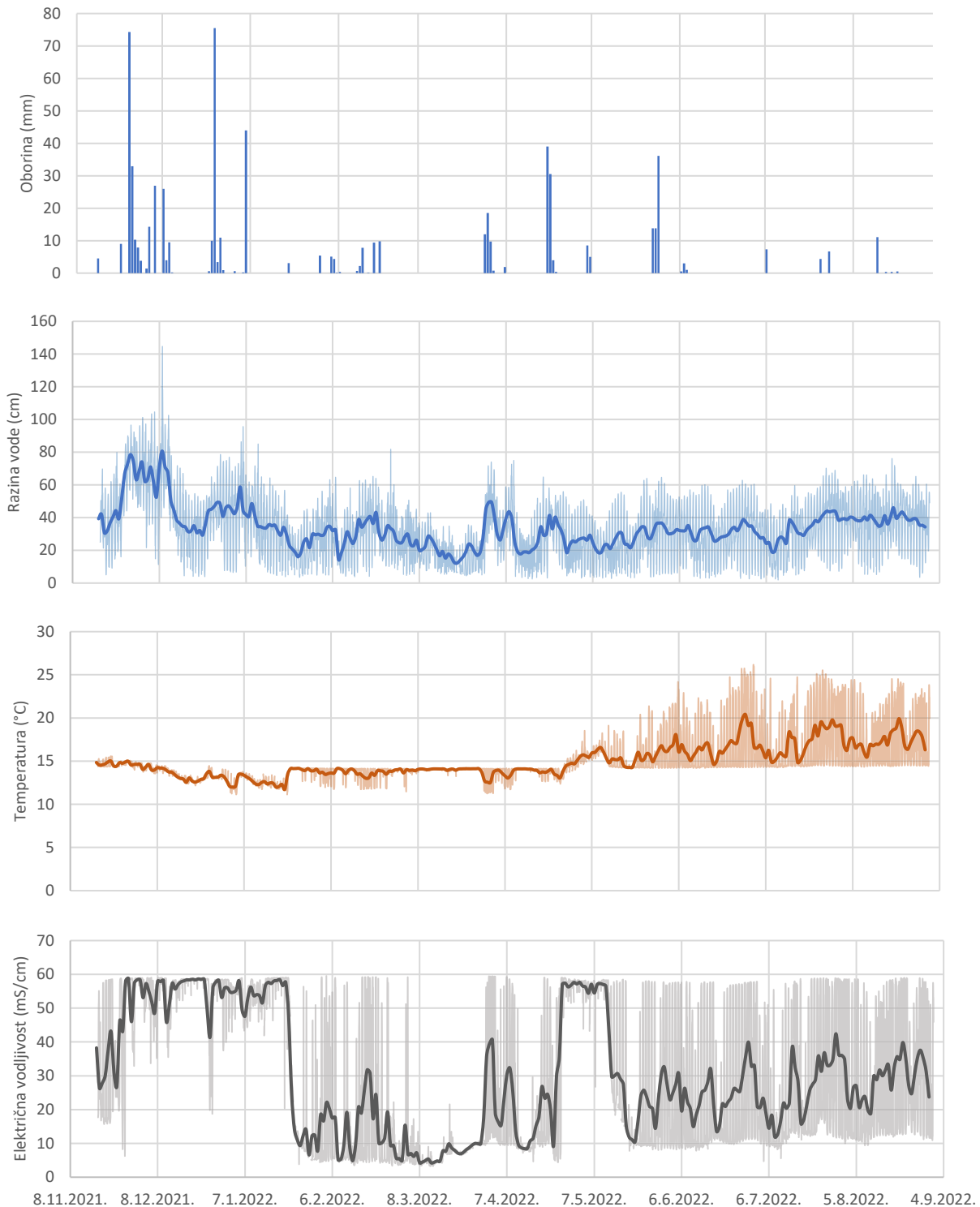
Tijekom cijelog promatranog perioda, vidljive su vrlo velike oscilacije električne vodljivosti od 3,2 mS/cm do 60 mS/cm što je čisto more. Vidljivo je da su na početku, do kraja siječnja, vrlo visoke vrijednosti električne vodljivosti, kada se naglo smanjuju, te tijekom sljedeća dva mjeseca osciliraju pri nižim vrijednostima.



Slika 5.2-9. Prikaz razina vode, temperature i električne vodljivosti u piezometrima PZ1 i PZ2 i dnevnih oborina na postaji Vransko jezero (8.11.2021.-31.8.2022.)

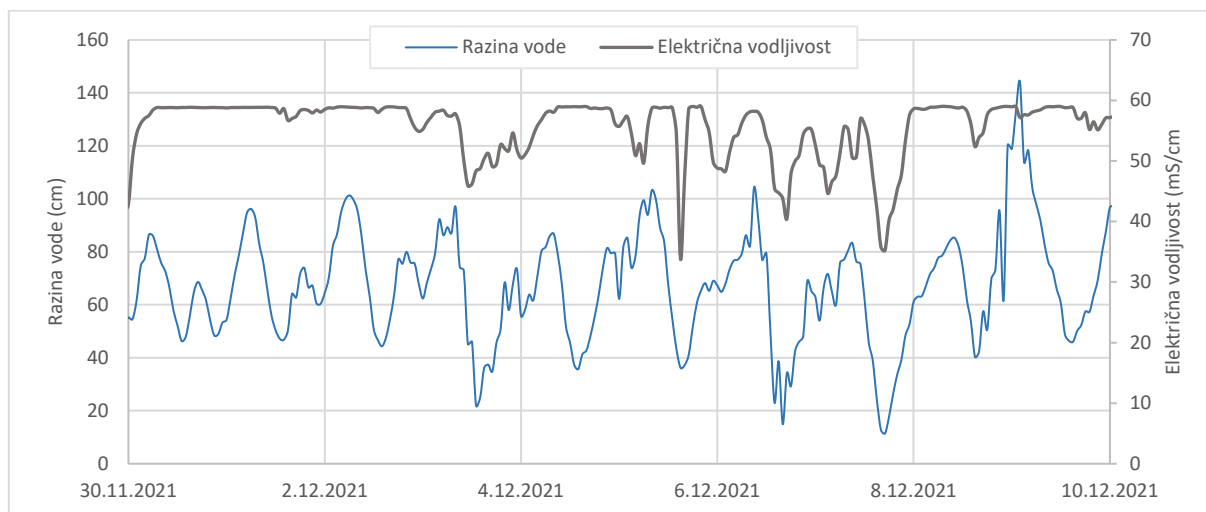


Slika 5.2-10. Prikaz razina vode, temperature i električne vodljivosti u vrulji Vrutak i dnevnih oborina na postaji Vransko jezero (8.11.2021.-31.8.2022.)

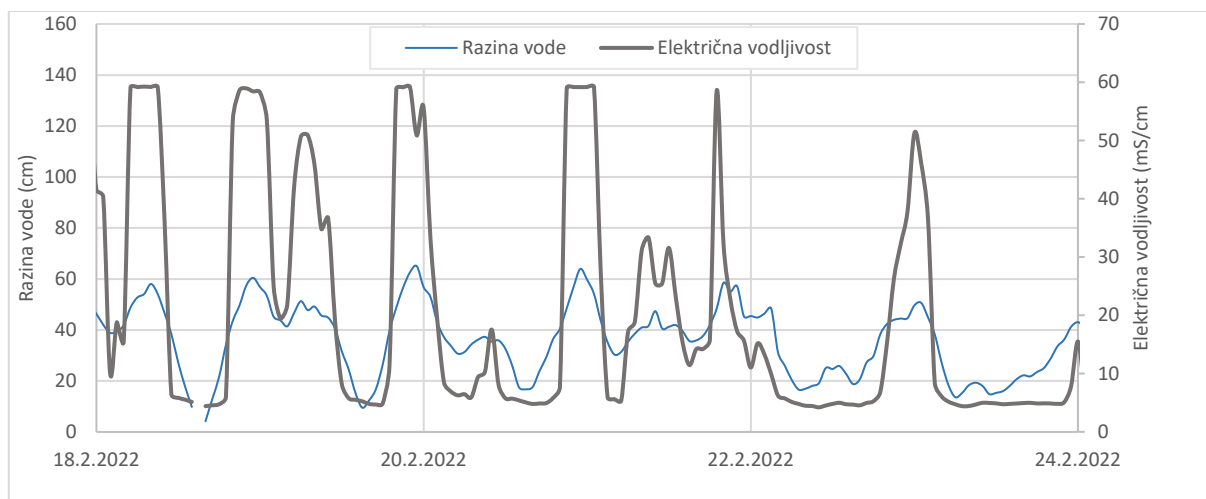


Slika 5.2-11. Prikaz razina vode, temperature i električne vodljivosti na izvoru Lukavac i dnevnih oborina na postaji Vransko jezero (8.11.2021.-31.8.2022.)

Na slikama 5.2-12 i 5.2-13 dana su dva primjera – period kada električna vodljivost ne oscilira znatno (unutar cca 20 mS/cm), te period kada električna vodljivost oscilira od slatke do potpuno slane vode. Vidljivo je na obje slike kako električna vodljivost oscilira pod utjecajem plime i oseke. Na slici 5.2-13 vidljivo je da unutar jednog dana električna vodljivost oscilira od 5 mS/cm do 60 mS/cm.



Slika 5.2-12. Oscilacije električne vodljivosti na izvoru Lukavac (30.11.-10.12.2021.)

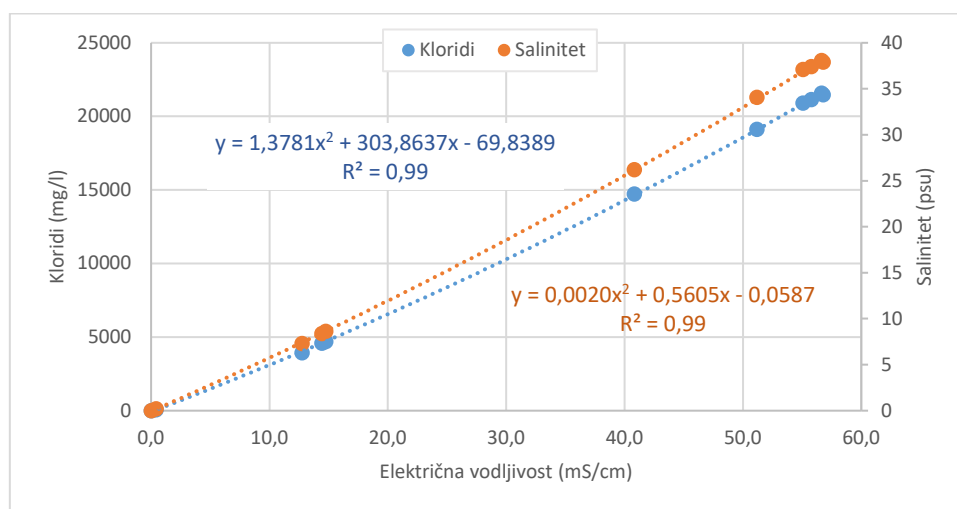


Slika 5.2-13. Oscilacije električne vodljivosti na izvoru Lukavac (18.2.-24.2.2022.)

Tijekom prikupljanja podataka sa mjernih uređaja i provedbe vodomjerenja, uzimani su i uzorci vode na lokacijama na području Vranskog jezera (Tablica 5.2-2). Pri takvim redovitim uzorkovanju vode, analizirana je električna vodljivost vode. No pri zadnjem uzorkovanju u kolovozu i rujnu 2022. dodatno su analiziran i sadržaj klorida kao i salinitet, na osnovu čega se je dobio vrlo čvrst odnos električne vodljivosti sa salinitetom i kloridima (Slika 5.2-14), te su oni preračunati preko tog odnosa i za ostala uzorkovanja vode.

Tablica 5.2-3. Uzorci vode na lokacijama na području Vranskog jezera (plavo – preračunate vrijednosti)

| Uzorak | Datum | Pozicija | Električna vodljivost (mS/cm) | Kloridi (mg/l) | Salinitet (psu) |
|--------|------------|---|-------------------------------|----------------|-----------------|
| 1 | 10.11.2021 | Vrulja Vrutak - dno | 25,1 | 8441 | 15,3 |
| 2 | 10.11.2021 | Vrulja Vrutak - površina | 31,3 | 10813 | 19,4 |
| 3 | 10.11.2021 | Vrulja Vrutak - malo dalje od vrulje | 31,7 | 10969 | 19,7 |
| 4 | 10.11.2021 | Vrulja Vrutak - more | 31,8 | 11009 | 19,8 |
| 5 | 12.11.2021 | Jezero | 0,238 | 2,56 | 0,07 |
| 6 | 12.11.2021 | Jezero | 0,238 | 2,56 | 0,07 |
| 7 | 17.11.2021 | Lukavac - izvor | 11,27 | 3514 | 6,5 |
| 8 | 17.11.2021 | Lukavac - na mjestu mjerenja | 23,1 | 7697 | 14,0 |
| 9 | 17.11.2021 | Lukavac - more malo dalje od mjesta mjerenja | 30 | 10307 | 18,6 |
| 1 | 7.4.2022 | Vrh vrulje Vrutak | 40,4 | 14477 | 25,9 |
| 2 | 7.4.2022 | Dno vrulje Vrutak | 35,6 | 12517 | 22,4 |
| 3 | 7.4.2022 | More dalje od vrulje | 41,4 | 14893 | 26,6 |
| 4 | 7.4.2022 | Desno od divera na Lukavcu | 9,46 | 2906 | 5,4 |
| 5 | 7.4.2022 | Profil vodomjerenja na Lukavcu (10ak cm ispod površine) | 18,89 | 6166 | 11,2 |
| 6 | 7.4.2022 | More dalje od izvora | 41,8 | 15060 | 26,9 |
| 1 | 13.7.2022 | Jezero | 0,357 | 38,8 | 0,14 |
| 2 | 14.7.2022 | Kod divera na Lukavcu | 14,15 | 4498 | 8,3 |
| 3 | 14.7.2022 | Profil vodomjerenja na Lukavcu (10ak cm ispod površine) | 28,1 | 9576 | 17,3 |
| 4 | 14.7.2022 | More dalje od izvora Lukavac | 34,5 | 12077 | 21,7 |
| 5 | 14.7.2022 | Dno vrulje Vrutak | 37,5 | 13286 | 23,8 |
| 6 | 14.7.2022 | More dalje od vrulje ali prema plaži | 41,15 | 14789 | 26,4 |
| 7 | 14.7.2022 | Vrh vrulje Vrutak | 41,45 | 14914 | 26,6 |
| 1 | 30.8.2022 | VRULJA VRUTAK dno | 40,8 | 14731 | 26,2 |
| 2 | 30.8.2022 | VRULJA VRUTAK površina | 55,1 | 20912 | 37,09 |
| 3 | 30.8.2022 | OTVORENO MORE KOD VRUTKA | 56,6 | 21582 | 38,08 |
| 4 | 31.8.2022 | IZVOR LUKAVAC u profilu najveće brzine | 12,7 | 3931 | 7,31 |
| 5 | 31.8.2022 | IZVOR LUKAVAC u profile bez brzine | 14,8 | 4685 | 8,62 |
| 6 | 31.8.2022 | IZVOR LUKAVAC na mjestu istjecanja | 14,4 | 4577 | 8,39 |
| 7 | 31.8.2022 | More kod IZVORA LUKAVAC | 55,8 | 21136 | 37,4 |
| 8 | 31.8.2022 | Izvor/VRULJA sv. DUJE | 51,2 | 19126 | 34,06 |
| 9 | 5.9.2022 | VRANSKO JEZERO –površina kod bove | 0,411 | 61 | 0,21 |
| 10 | 5.9.2022 | MORE MERAG | 56,8 | 21477 | 37,9 |



Slika 5.2-14. Odnos između električne vodljivosti i klorida i saliniteta

Na izvoru Lukavac uz uzorkovanja provođena su i mjerenja protoka. Pri tome je, radi osiguranja vjerodostojnog podatka o izdašnosti izvora, neophodna apsolutna bonaca na moru. No zbog otvorenog položaja tog izvora, to su vrlo rijetke situacije i takvih apsolutno mirnih uvjeta nije bilo. Zato su rezultati provedenih vodomjerenja okvirni (Tablica 5.2-4). U spomenutoj tablici dane su i procijenjene vrijednosti dotoka podzemnih voda obzirom na MDK koncentraciju klorida (250 mg/l) i sadržaja klorida u okolnom moru, a čiji su rezultati uzorkovanja dani u tablici 5.2-3.

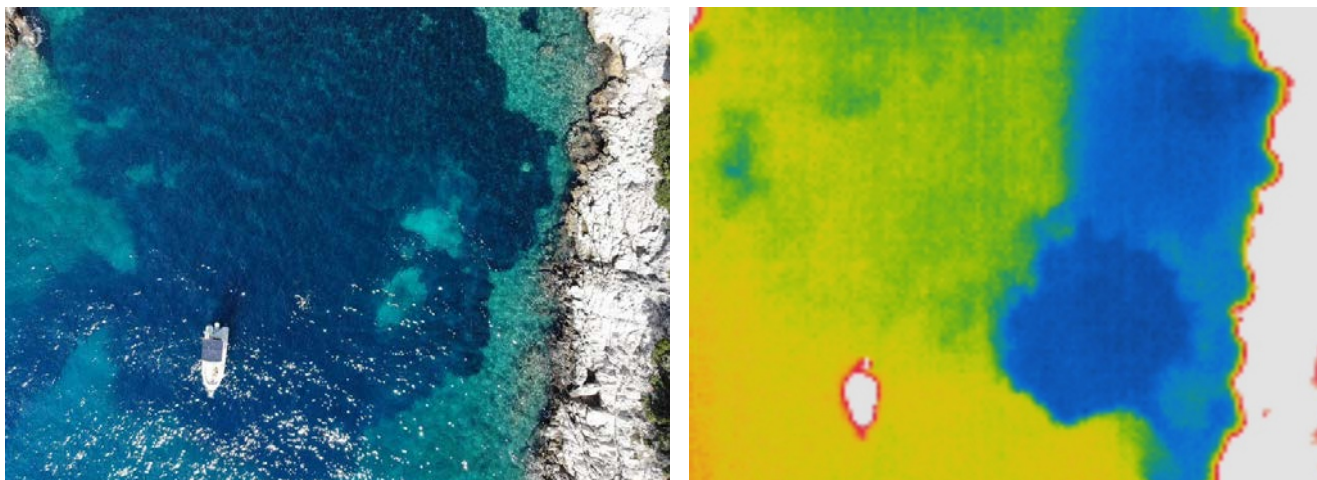
Tablica 5.2-4. Rezultati vodomjerenja i procijenjenih dotoka podzemnih voda na izvoru Lukavac

| Datum | Izmjereni protok (l/s) | Procijenjeni dotok podzemnih voda obzirom na MDK u odnosu na zaslanjenost mora (l/s) |
|------------|------------------------|--|
| 17.11.2021 | 50,7 | 3,6 |
| 7.4.2022 | 57,8 | 5,0 |
| 14.7.2022 | 38,4 | 2,1 |
| 31.8.2022 | 59 | 3,8 |
| 28.10.2022 | 52 | 5,7 |

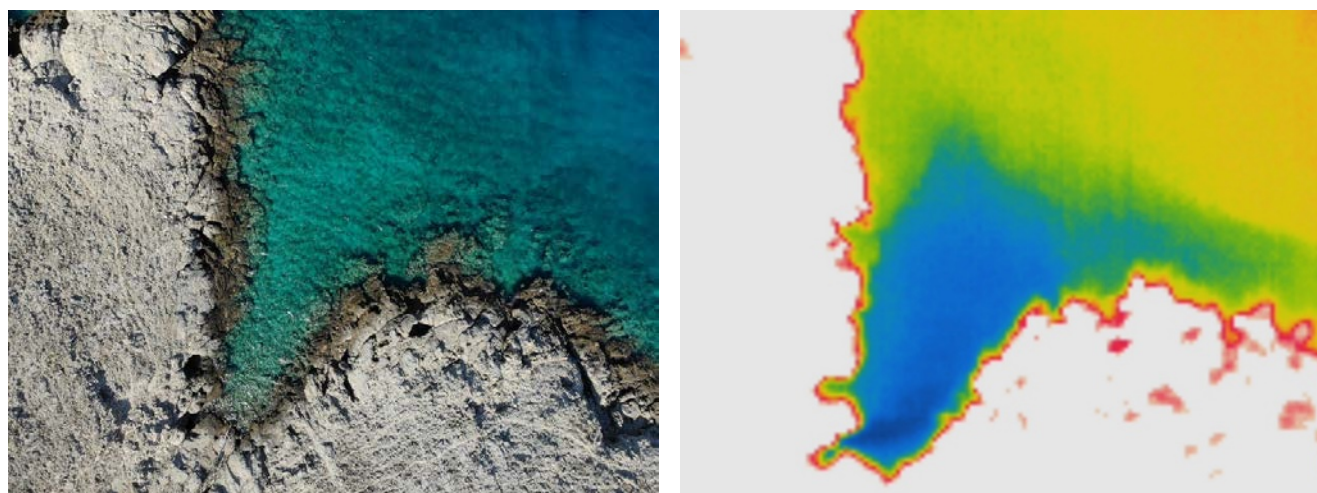
Dobiveni rezultati pokazuju da apsolutne vrijednosti izmjerenih dotoka nisu ovisne o kalendarskom dobu godine, odnosno stanju u vodonosniku, već zapravo ponajviše ovise o lokalnim uvjetima prilikom provedbe vodomjerenja – međuodnosu plime i oseke pod čijim se uplivom i odvija istjecanje/cirkulacija voda na rubnim dijelovima priobalnog vodonosnika. Ukoliko se promatraju procijenjene vrijednosti dotoka podzemnih voda na temelju međuodnosa sadržaja klorida na vodomjernom profilu i MDK za pitku vodu, dobivene su puno manje vrijednosti – reda veličine 2-5 l/s. Tijekom u sušnijih razdoblja manje je izražena dinamika miješanja slatkih i slanog voda, pa je prikladnije odrediti sadržaj klorida u podzemnoj vodi koja istječe na izvoru te se ujedno miješa sa morskom vodom po čijim je usporom. Vjerojatno su i tijekom vodnijih razdoblja veći dotoci podzemnih voda. No, i vrijednost dotoka od nekoliko l/s tijekom sušnog razdoblja ukazuje na stabilnost vodonosnika koji ga prihranjuje, pa je moguće da mu razine vode u podzemlju podržavaju i visoke razine vode u Vranskom jezeru i komunikacija između njih i okolnih dijelova vodonosnika. Slični su rezultati dobiveni i na temelju mjerenja iz 1991.g.

Rezultati provedenih termalnih daljinskih snimanja nisu pokazali postojanje termalnih anomalija na području samog jezera u smislu da bi ukazivali na postojanje koncentriranih dotoka slatkih voda u istraživanoj priobalnoj zoni, ali su takve anomalije uočene na mjestima prethodno analiziranih lokacija istjecanja slatkih voda u more – vrulji Vrutak (Slika 5.2-15) i izvoru Lukavac (Slika 5.2-16). Te su lokacije višekratno snimane uz pomoć bespilotne letjelice opremljene termalnom infracrvenom kamerom u različitim hidrološkim prilikama. U tim situacijama

provedeno je i uzorkovanje u pogledu električne vodljivosti/sadržaja klorida, a izmjerene su i temperature vode u karakterističnim točkama. U situacijama kada nije bilo prevelikog valovanja mora koje preplavljuje mjesto istjecanja podzemne vode, provedeno je i mjerenje protoka na mjestu istjecanja priobalnog izvora Lukavac. Na vrulji Vrutak nije moguće mjeriti količinu istjecanja voda.

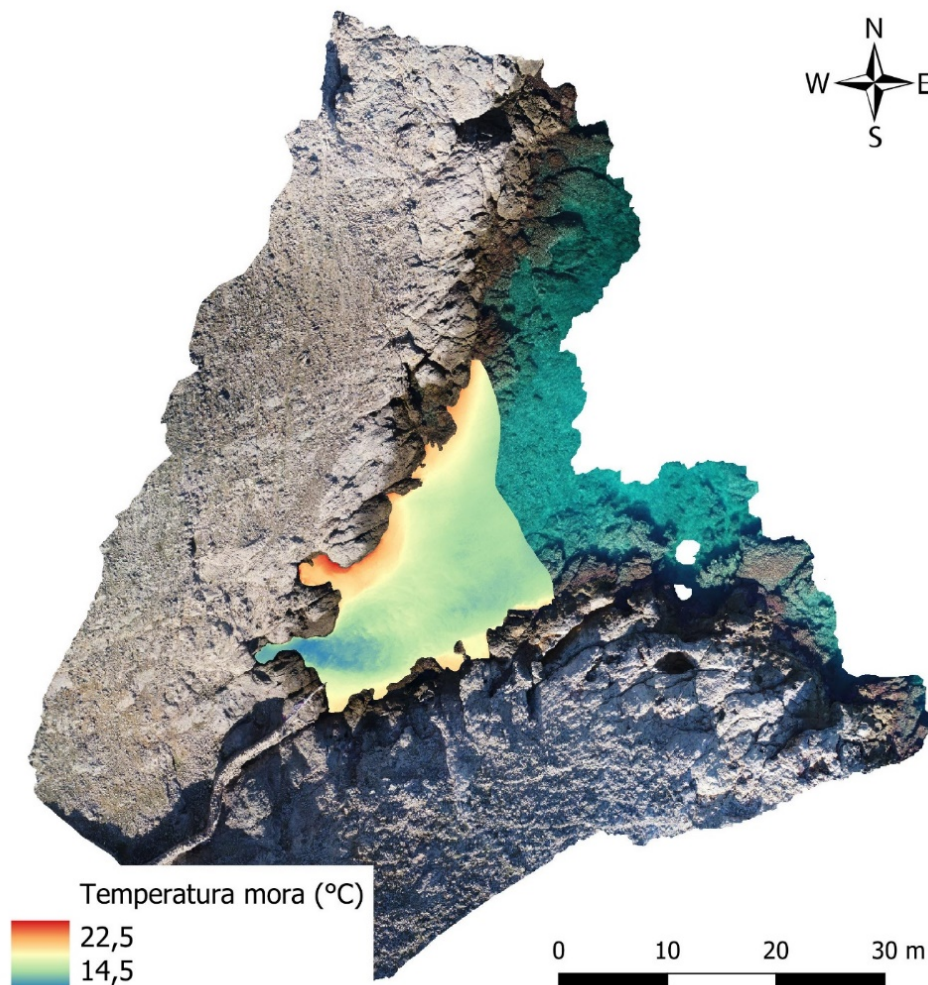


Slika 5.2-15. Termalna anomalija i pozicija snimanja na vrulji Vrutak na dane 14.7.2022.



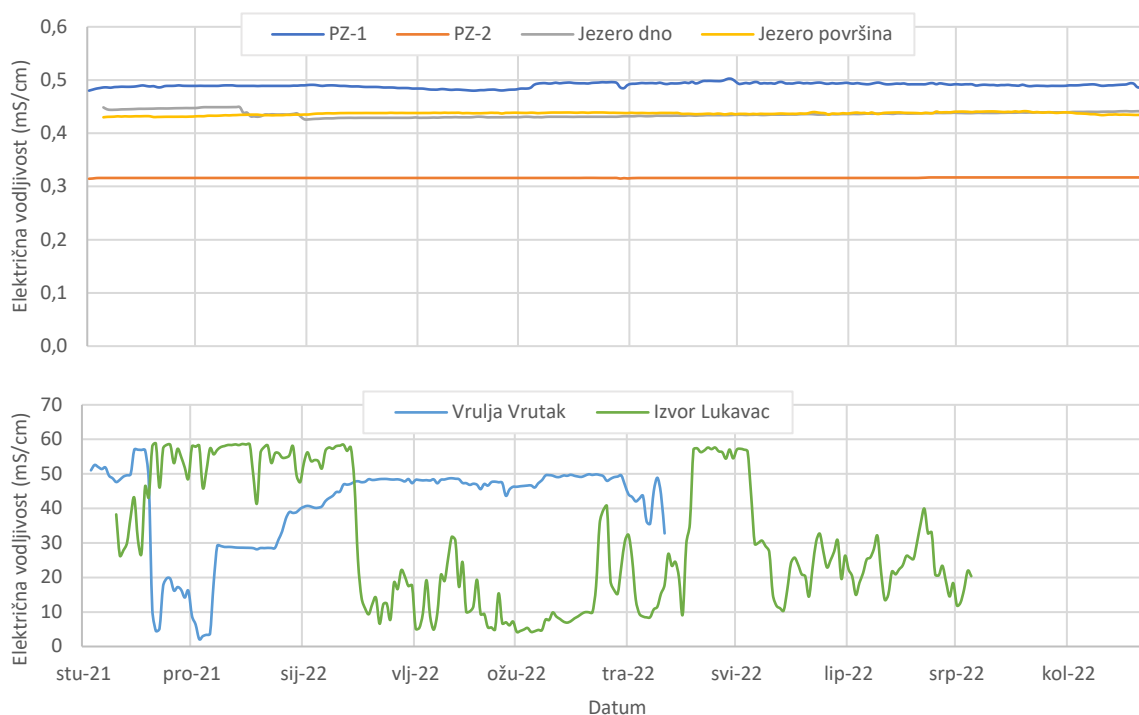
Slika 5.2-16. Termalna anomalija i pozicija snimanja na Izvor Lukavac (kosa projekcija područja izvora) na dane 31.8.2022.

U nastavku je (Slika 5.2-17) prikazana daljinska termalna snimka istjecanja izvora Lukavac dne 28.10.2022., integrirana u digitalni model terena. Izmjereni protok je iznosio 52 l/s. U vrijeme vodomjerenja, kloridi na izvoru iznosili su 2290 mg/l, a temperatura vode 15,2°C, a sadržaj klorida, na temelju praćenja el. vodljivosti, određen je s vrijednošću 3013 mg/l na mjestu koncentriranog istjecanja podzemnih voda. Analizom međudnosa sadržaja protoka, klorida u podzemnoj vodi koja istječe te u moru, utvrđeno je da protok slatkih voda u toj situaciji iznosi oko 5,7 l/s.



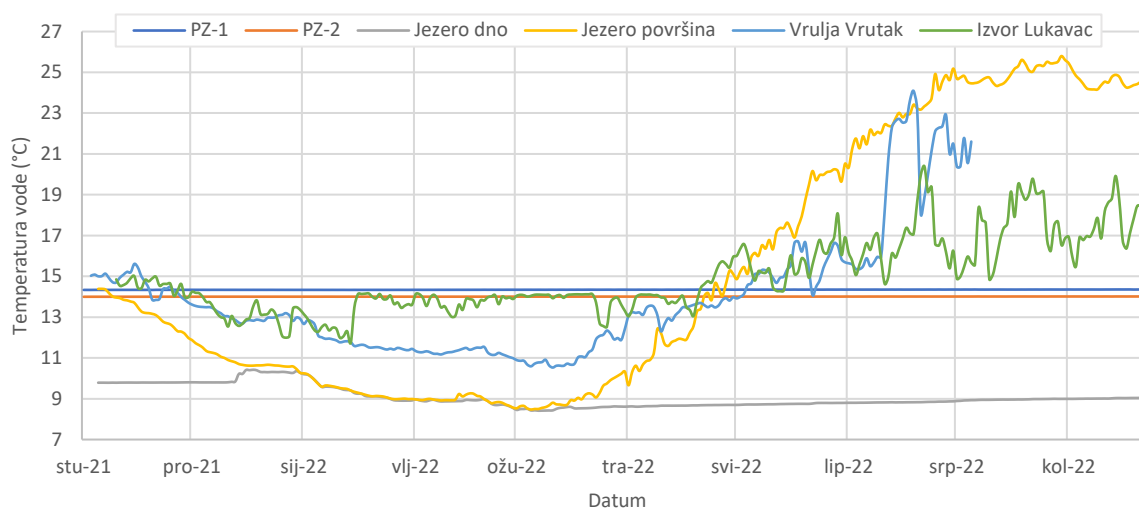
Slika 5.2-17. Termalna anomalija na Izvor Lukavac integrirana u digitalni model reljefa na dne 28.10.2022.

Na [slici 5.2-18](#) dan je i usporedni prikaz električne vodljivosti na svim mjernim lokacijama na području Vranskog jezera u razdoblju od 8.11.2021. do 31.8.2022. Vidljivo je da su vrlo male razlike u električnoj vodljivosti u piezometrima i u jezeru, te se kreću između cca 0,3 i 0,5 mS/cm. Kod vrulje Vrutak i izvora Lukavac dolazi do naglih promjena u električnoj vodljivosti. To ovisi o plimi i oseci, istjecanjima kao i lokaciji postavljanja samo mjernog uređaja koja povremeno dolazi i pod direktniji upliv mora.



Slika 5.2-18. Usporedni prikaz električne vodljivosti na svim mjernim lokacijama (8.11.2021. - 31.8.2022.)

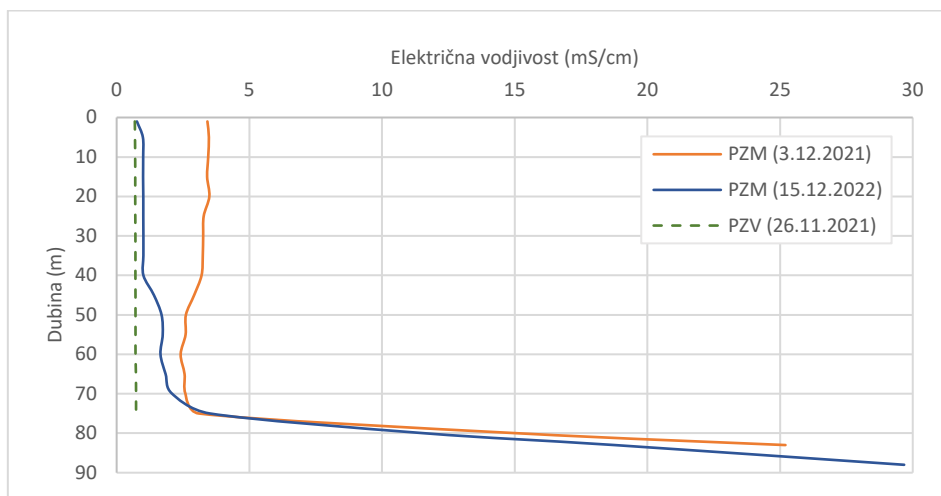
Sa **slike 5.2-19** vidljivo je da su temperature vode konstantne na dnu jezera, te u oba piezometra, dok na ostalim lokacijama variraju i ovise o temperaturi zraka.



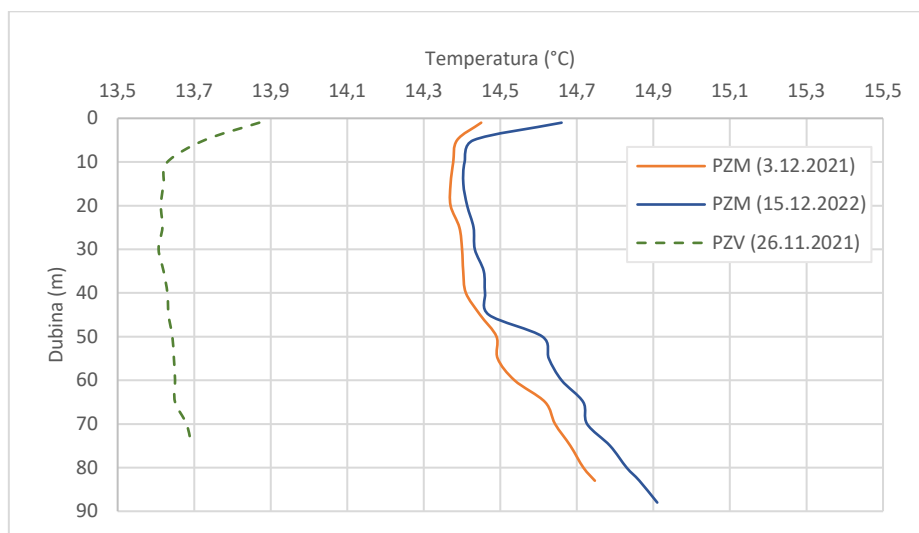
Slika 5.2-19. Usporedni prikaz električne vodljivosti na lokacijama vrulja Vrutak i izvor Lukavac (8.11.2021. - 31.8.2022.)

Interesantno je dobivene rezultate monitoringa u okviru UKV projekta usporediti i s rezultatima praćenja temperature voda i električne vodljivosti u dvama dubokim piezometrima (PZM – piezometar Martinšćica, PZV – piezometar Valun), postavljenim tijekom realizacije UKV projekta u okviru projekta Hrvatskih voda (**GEO-5, 2022b**). Sa **slike 5.2-20** vidljivo je da električna vodljivost ista cijelom dubinom u piezometru Valun i iznosi oko 0,7 mS/cm, dok u piezometru Martinšćica ona se mijenja - od vrha do cca 75 metara električna vodljivost je skoro konstantna (3.12.2021 oko 3 mS/cm, a 15.12.2022 oko 1 mS/cm), ali od 75 m pa do dna bušotine ona naglo poraste do 25 mS/cm, odnosno na dne 15.12.2022 do 30 mS/cm pri dubini od 88 m. Sa **slike 5.2-21** vidljivo je da na piezometru Valun temperatura vode pada do cca 10 m te nakon toga je vrlo slična cijelom dubinom. Kod

piezometra Martinšćica vidljivo je da temperatura vode do cca 5 metara pada, a nakon toga lagano raste do dna bušotine (za cca 0,4°C).



Slika 5.2-20. Prikaz električne vodljivosti vode po dubini u piezometrima Martinšćica (3.12.2021. i 15.12.2022.) i Valun (26.11.2021.) (GEO-5, 2022b)



Slika 5.2-21. Prikaz temperature vode po dubini u piezometrima Martinšćica (3.12.2021. i 15.12.2022.) i Valun (26.11.2021.) (GEO-5, 2022b)

Spomenuti rezultati dubokih piezometarskih bušotina potvrđuju da je otočki vodonosnik kome pripada i Vransko jezero u dinamičkoj ravnoteži s morem. Zbog njegove otvorenosti prema Martinšćici, tu slatkovodna leća isklinjava i zaslanjena morska voda pruža se ispod slatkovodnog sloja. U smjeru Valuna podzemne vode prigušeno cirkuliraju, te nije utvrđena neposredna veza s morem.

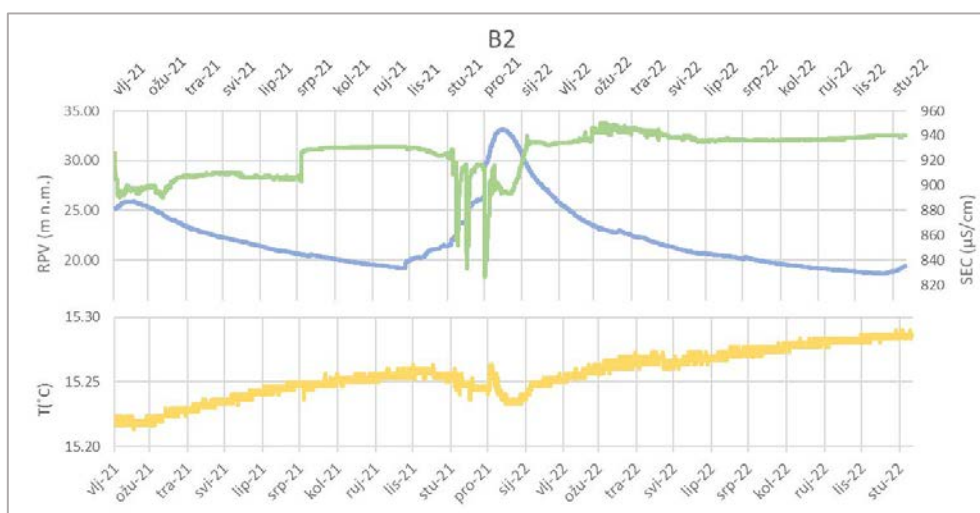
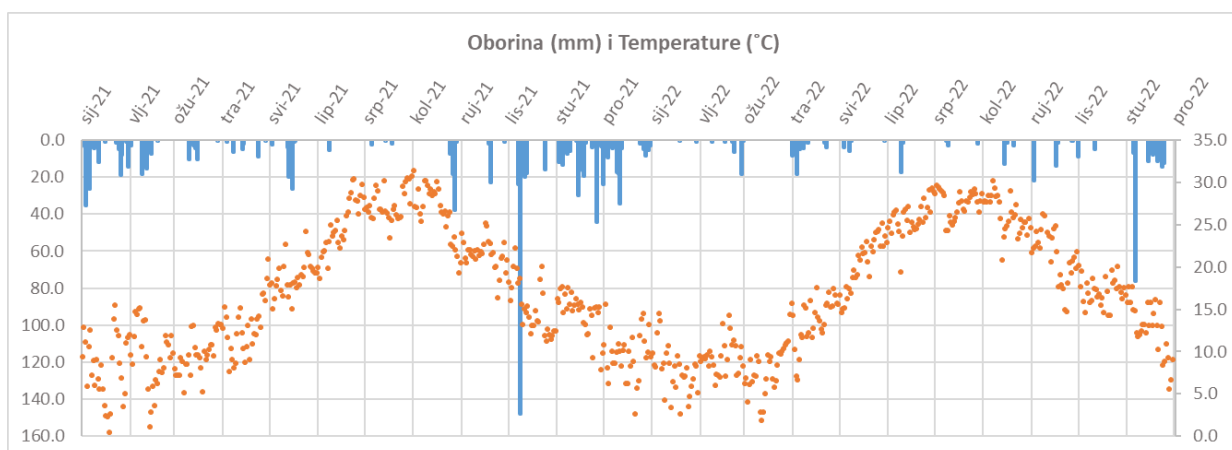
5.3. Rezultati monitoringa podzemnih voda na pilot području Blatsko polje na otoku Korčuli

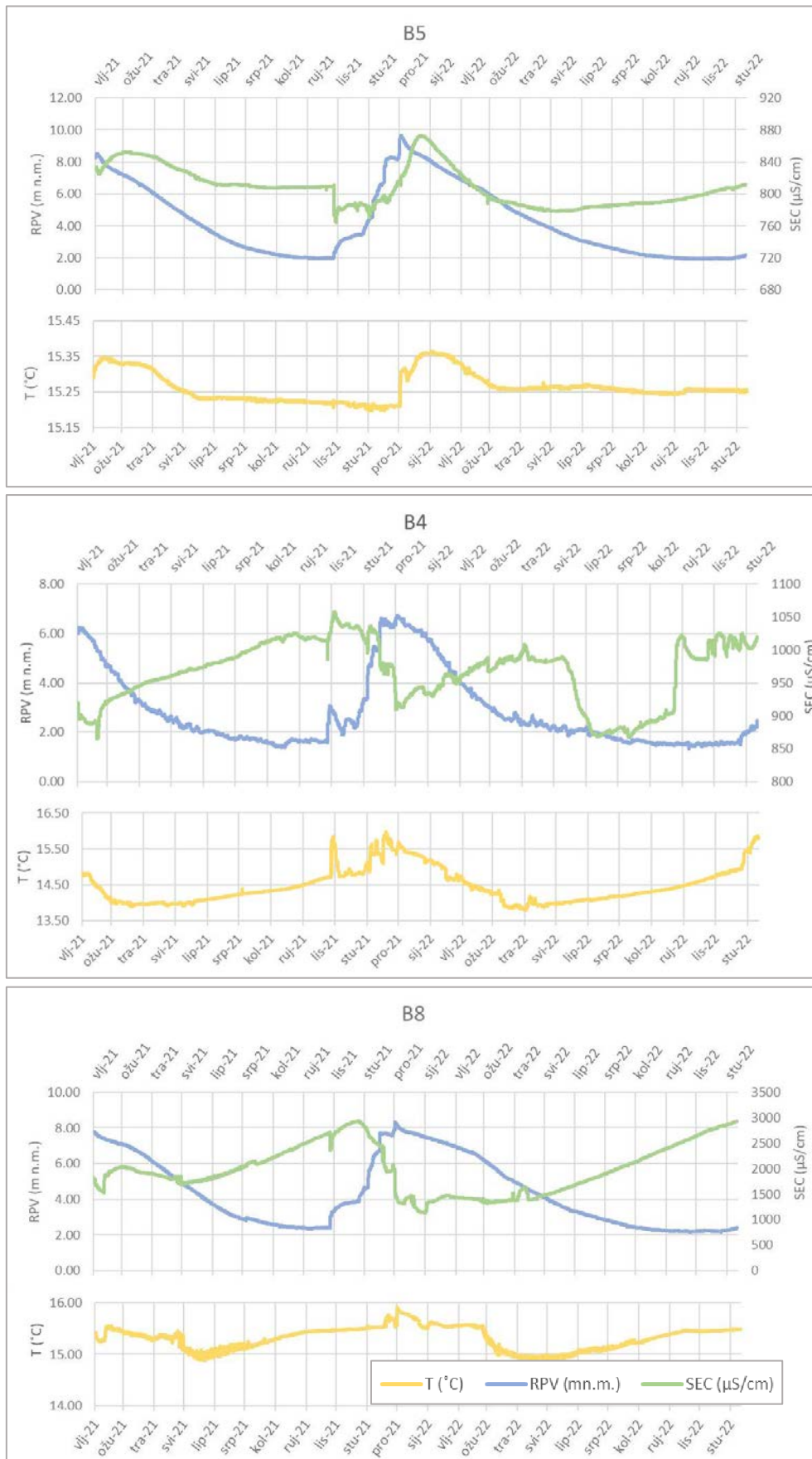
5.3.1. Monitoring dinamike podzemnih voda

Za praćenje dinamike podzemne vode u Blatskom vodonosniku na četiri odabrane istražne bušotine (B2, B4, B5 i B8), opažalo se kolebanje razine podzemne vode (rpv), elektrolitičke vodljivosti (EC) i temperature (T) na pojedinim bušotinama. To je omogućilo da se odredi ukupan raspon kolebanja mjerenih parametara te utjecaj

promjena razine vode na promjenu elektrolitičke vodljivosti i temperature. Pored toga, usporedbom parametara mjerenih na različitim bušotinama, željelo se procijeniti hidrodinamičke odnose među bušotinama.

Generalno, na bušotinama se jasno vidi obrnuto proporcionalna veza između razine podzemne vode i elektrolitičke vodljivosti (Slika 5.3-1). To je uobičajeno, jer se krški vodonosnici dominantno prihranjuju oborinama koje su vrlo malo mineralizirane pa im je elektrolitička vodljivost vrlo niska. Stoga, nakon oborina dolazi do dizanja rpv-a i razrjeđenja podzemne vode, zbog čega joj, u većoj ili manjoj mjeri, EC počne padati. Suprotno tome, pad rpv-a uobičajeno prati postupan rast EC-a. Zbog zamršenih hidrogeoloških odnosa, ponekad se dešava i suprotno, da je kretanje EC-a je proporcionalna kretanju rpv-a, kao što je to slučaj na bušotini B5. Osim EC-a, promjena rpv-a utječe i na promjenu temperature, koja može rasti ili padati, ovisno o ishodišnim temperaturama podzemne vode i oborine. Na svim bušotinama, temperatura se kreće proporcionalno kretanju rpv-a, osim na bušotini B2 gdje ona gotov kontinuirano raste gotovo kroz cijelo razdoblje opažanja. No taj rast je unutra 0.1 °C jer su temperature na B2 izuzetno stabilne.





Slika 5.3-1. Vremenske serije razine podzemne vode, elektrolitičke vodljivosti i temperature na četiri opažane bušotine. Gornji graf prikazuje dnevnu oborinu i temperaturu tijekom cijelog razdoblja monitoringa. Napomena: neobično kolebanje EC na bušotini B2 od početka studenog do prve polovice prosinca 2021., vrlo vjerojatno nisu posljedica prirodnih uvjeta nego tehničke greške u mjerenju.

Srednja temperatura na B2, B5 i B8 je oko 15.3 °C, a na B4 je oko stupanj niža (Tablica 5.3-1). EC je slična na tri bušotine, najniža na B4, a nešto viša na B2 i B5. Najviše vrijednosti su na B8 (Tablica 5.3-1, Slike 5.3-1 i 5.3-2). Temperature su izuzetno stabilne na B2 i B5, a najveći raspon imaju na B4. Raspon kolebanja rpv-a je najveći na bušotini B2, koja se nalazi na najvišoj nadmorskoj visini, a na ostalim bušotinama je između 5 i 7 m.

Tablica 5.3-1. Deskriptivna statistika mjerenih parametara tijekom razdoblja opažanja (veljača 2021-studen 2022). Neobično kolebanje EC na bušotini B2 od početka studenog do prve polovice prosinca, 2021. vrlo vjerojatno nisu posljedica prirodnih uvjeta, nego tehničke greške u mjerenju pa dobivene vrijednosti (Min, Mean, Med, STD, Raspon) na toj bušotini treba uzeti sa zadržkom.

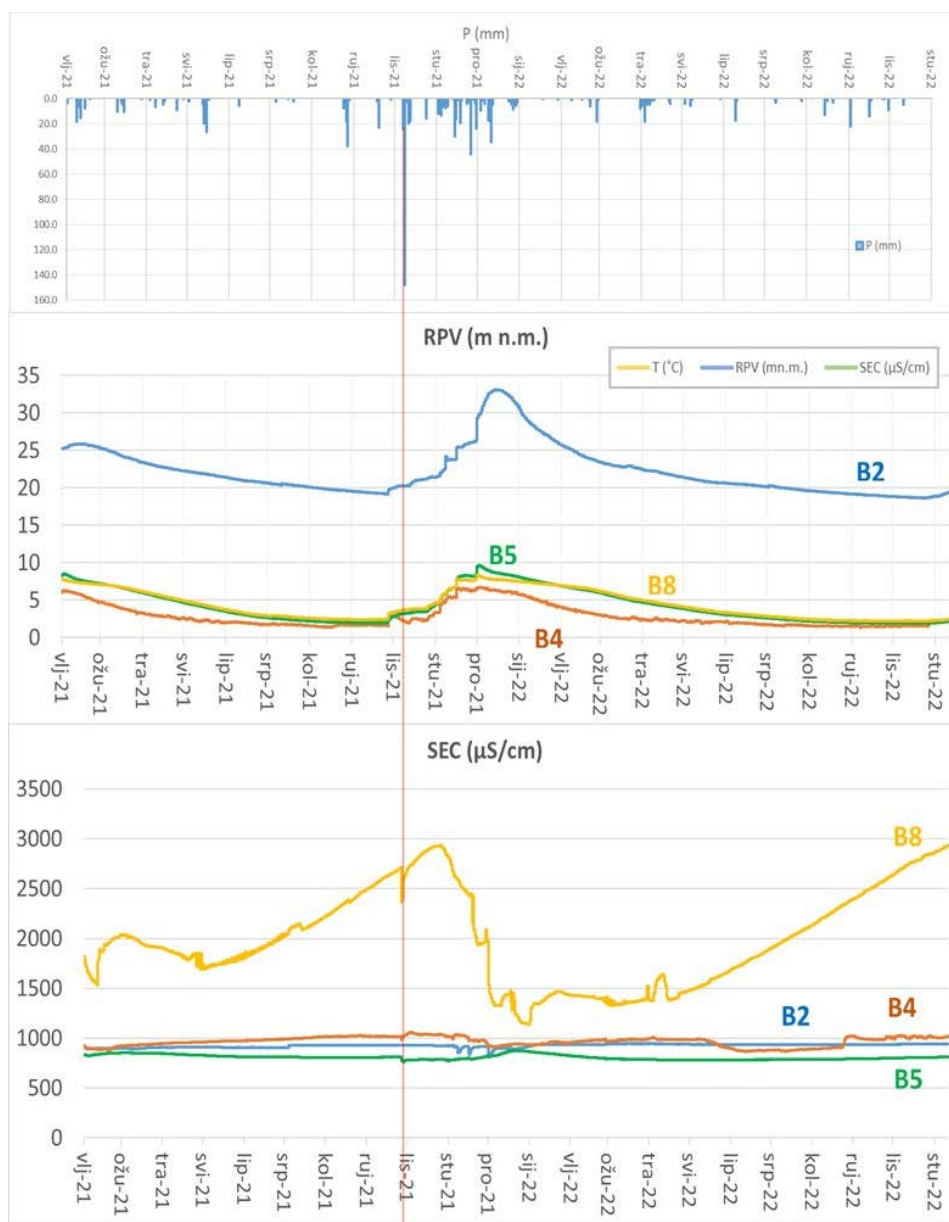
| | B2 | | | B4 | | | B5 | | | B8 | | |
|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| | T | SEC | RPV | T | SEC | RPV | T | SEC | RPV | T | SEC | RPV |
| | °C | µS/cm | m n.m. | °C | µS/cm | m n.m. | °C | µS/cm | m n.m. | °C | µS/cm | m n.m. |
| Min | 15.21 | 826 | 18.62 | 13.80 | 865 | 1.32 | 15.20 | 764 | 1.91 | 14.87 | 1136 | 2.16 |
| Max | 15.29 | 950 | 33.08 | 15.98 | 1058 | 6.74 | 15.36 | 873 | 9.67 | 15.91 | 2938 | 8.34 |
| Mean | 15.26 | 925 | 22.20 | 14.46 | 967 | 2.81 | 15.26 | 808 | 4.26 | 15.32 | 1993 | 4.39 |
| Med | 15.25 | 931 | 21.13 | 14.33 | 977 | 2.19 | 15.26 | 807 | 3.46 | 15.36 | 1935 | 3.80 |
| STD | 0.02 | 17 | 3.26 | 0.48 | 47 | 1.51 | 0.04 | 24 | 2.20 | 0.22 | 483 | 1.94 |
| Raspon | 0.08 | 124 | 14.46 | 2.19 | 193 | 5.42 | 0.17 | 109 | 7.76 | 1.04 | 1802 | 6.18 |

Bušotina B2 locirana je na višoj nadmorskoj visini, u polju Velika Krtinja, dok su ostale bušotine locirane u Blatskom polju, na nadmorskoj visini ispod 10 m n.m. Zbog toga su i razine podzemne vode znatno više na B2 nego na ostalim opažanim bušotinama (Slika 5.3-2). Na grafu (Slika 5.3-2) se može vidjeti kako je dinamika podzemne vode koja je posljedica godišnjeg punjenja i pražnjenja vodonosnika, vrlo slična na svim bušotinama. Na kratkoročnoj skali (dnevne i tjedne promjene), vidi se utjecaj lokalnih značajki (Slika 5.3-1). Na B4 se vide oštrije oscilacije rpv-a nego na ostalim bušotinama. S obzirom na to da su te oscilacije na dnevnoj bazi, pretpostavka je da su posljedica crpljenja obližnjeg zdenaca Studenac (cca. 600 m udaljen), koji se koristi za vodoopskrbu, i to s najvećim crpnim količinama u odnosu na ostale zdence. Na ostalim lokacijama vide se daleko blaža dnevna kolebanja, koja su najvjerojatnije posljedica utjecaja izmjene morskih mijena.

Tablica 5.3-2. Promjene razine podzemne vode i elektrolitičke vodljivosti kao reakcija na jaki kišni događaj 7. listopada 2021. godine

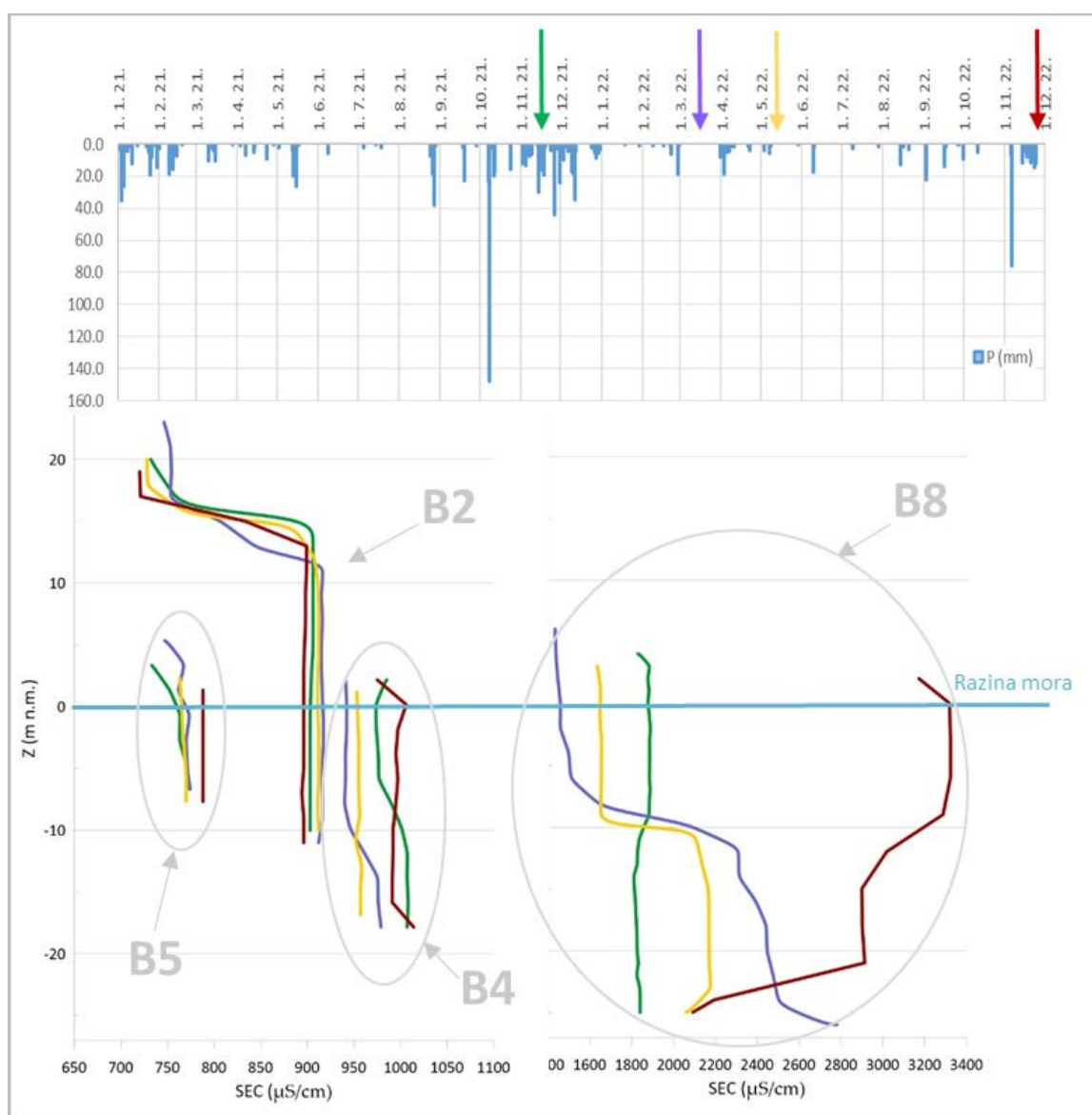
| Bušotina | RPV | | | | EC | | | |
|----------|------------------------|-------------|-------------|----------|------------------------|------------|----------|-----------------|
| | Vrijeme | RPV (m n.m) | Razlika (m) | Trajanje | Vrijeme | EC (µS/cm) | Trajanje | Razlika (µS/cm) |
| B2 | 2021-10-07 14:00:00 | 19.22 | 0.62 | 19 h | Nema promjene | | | |
| | 2021-10-07 15:00:00 | 19.30 | | | | | | |
| | 2021-10-08 09:00:00 | 19.84 | | | | | | |
| B4 | 2021-10-07 09:00:00 | 1.57 | 1.50 | 63 h | 2021-10-07 14:00:00 | 1017 | 7 h | -20 |
| | 2021-10-09 22:00:00 | 3.07 | | | 2021-10-07 21:00:00 | 997 | | |
| B5 | 2021-10-07 13:00:00 | 2.01 | 1.50 | 684 h | 2021-10-07 15:00:00 | 811 | 14 h | -39 |
| | 2021-10-07 14:00:00 | 2.12 | | | 2021-10-08 05:00:00 | 772 | | |
| | 2021-11-05 00:00:00 | 3.51 | | | | | | |
| B8 | 2021-10-07 11:00:00 | 2.43 | 1.45 | 675 | 2021-10-07 11:00:00 | 2714 | 13 h | -322 |
| | 2021-10-07 12:00:00 | 2.49 | | | 2021-10-08 00:00:00 | 2392 | | |
| | 2021-11-04 14:00:00 | 3.88 | | | | | | |

Posebno se razmotrio moment kada je naglo pala velika količina kiše (148 mm u danu, [Slika 5.3-2](#)) jer se željela ustanoviti reakcija ovog hidrogeološkog sustava na ekstremne oborine. Utjecaj te kiše detaljno se može vidjeti u [Tablici 5.3-2](#). Nažalost, ne zna se točno vrijeme početka kiše jer postoje samo dnevne oborine za kišomjernu postaju Vela Luka, tako da je kišni događaj zapravo evidentiran 8.10.2021., iako je kiša počela dan ranije (oborina zabilježena 8.10. odnosi se na kumulativnu oborinu koja je pala od 7 sati ujutro prethodnog dana do 7 ujutro tog dana). Kiša je izazvala gotovo podjednako dizanje rpv-a (oko 1.5 m) na B4, B5 i B8. Na B4 je taj porast trajao tek nešto više od 2 dana, a nakon toga je počeo naglo padati, dok je na ostale dvije bušotine razina naglo porasla u prvom danu, a nakon toga lagano rasla još gotovo mjesec dana. Treba napomenuti i da je unutar tih mjesec dana još nekoliko puta pala kiša pojedinačnih intenziteta do 20 mm. Nagli pad na B4 najvjerojatnije je posljedica utjecaja crpljenja na Studencu. Na B2 je razina porasla 60-ak cm unutar manje od jednog dana, nakon čega je stagnirala. Ovaj događaj je popraćen naglim padom EC-a koji je trajao manje od jednog dana. Pad EC-a na B8 bio red veličine veći od B4 i B5. Na B2 nije došlo do razrjeđenja nakon ovog jakog kišnog događaja. Trenutak te kiše se može smatrati početkom sezonskog punjenja vodonosnika, a značajniji porast razina slijedi nakon dugotrajnih većih oborina ([Slika 5.3-2](#)).



Slika 5.3-2. Usporedba vrijednosti temperature i specifične elektrolitičke vodljivosti između bušotina

Mjerenjem elektrolitičke vodljivosti po dubini bušotina željelo se odrediti vertikalni profil promjene EC-a kako bi se vidio utjecaj mora na pojedinim bušotinama (Slika 5.3-3). Profili se odnose na apsolutne visine tako da se lijepo vide međusobni odnosi i odnosi s morskom razinom. Na B2 je najoštrije porast EC-a, gdje EC poraste za $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ između otprilike 53. i 56. m dubine (16-13 m n.m.). Na B8 promjena EC-a po dubini je vrlo raznolika u različitim kampanjama, te se kreće od oštrog porasta, gdje unutar samo dva metra (između 17 i 19 m dubine) EC poraste $400 \mu\text{S}/\text{cm}$, do situacije prilikom kampanje u 11. mjesecu 2022., kada su zabilježene najviše vrijednosti EC-a u gornjem stupcu vode, koje se s dubinom značajno smanjivale, do $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ na dubinama koje odgovaraju razini od -20 m n.m. Razlog inverzije je moguće velika plima toga dana. Za vrijeme kišne sezone u kampanji u 11. mjesecu 2021. na istoj bušotini nema promjene EC po dubini. Na bušotinama B4, B5 EC je bio stabilan po cijeloj dubini bušotine tijekom svih kampanja.



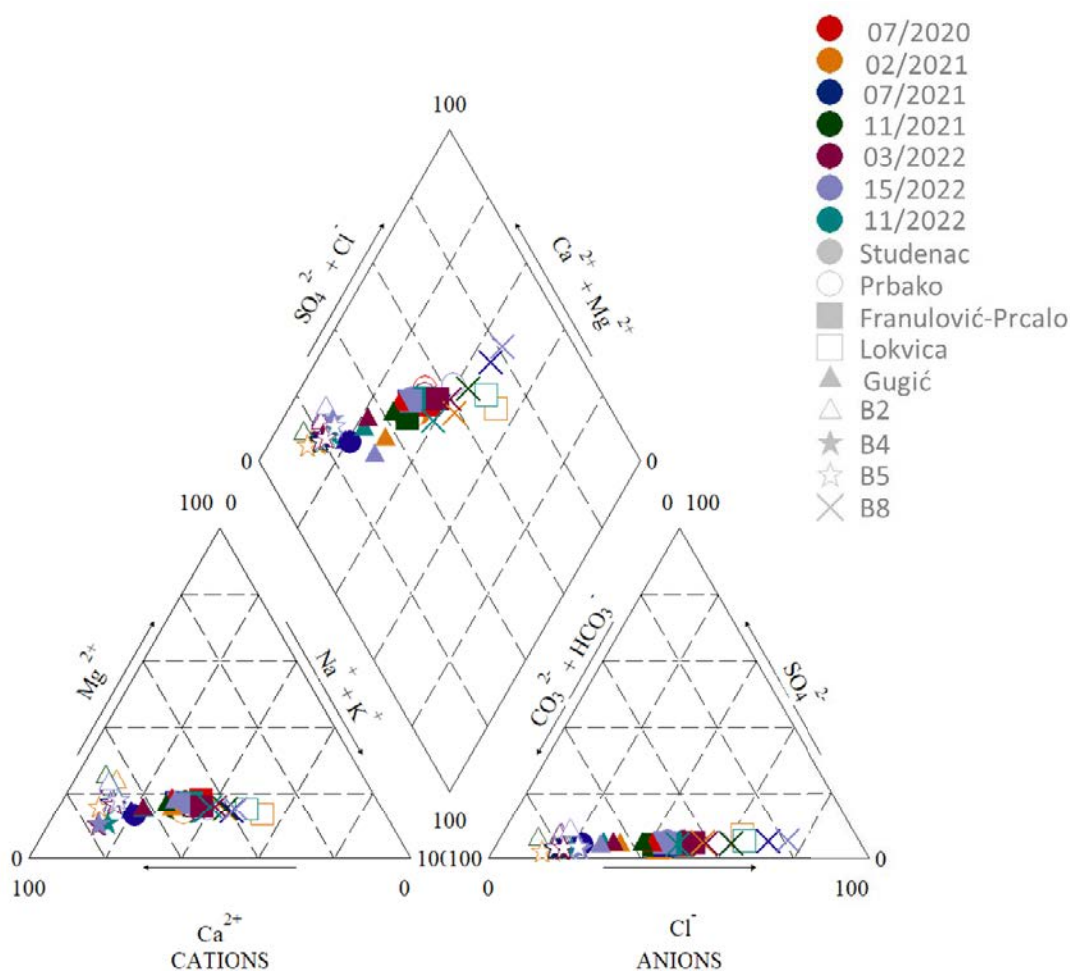
Slika 5.3-3. Raspodjela vrijednosti elektrolitičke provodljivosti po dubini na opažanim bušotinama. Gornji graf prikazuje dnevne oborine, strelice prikazuju datume mjerenja, dok njihove boje odgovaraju bojama EC krivulja. Napomena: skala vrijednosti SEC-a se razlikuju za B8.

Fizikalno-kemijske parametre praćene na vodoopskrbnim zdencima u polju nažalost nije bilo moguće analizirati zbog toga što je vjerodostojnost podataka upitna, što je uzrokovano brojnim tehničkim problemima na postavljenim automatskim mjeračima. Nadamo se da će ovi problemi biti riješeni i da ćemo dio prikupljenih podataka moći iskoristiti za dodatnu analizu. S obzirom da se sva tri zdenca na kojima su postavljeni logeri koriste

u vodoopskrbi, i da se zdenci uključuju i isključuju prema potrebi, pri analizi, i usporedbi tih podataka s podacima bušotina, nužno je uzeti u obzir i količine crpljenja.

5.3.2. Monitoring kakvoće podzemnih voda

Mjerene fizikalno-kemijske značajke podzemnih voda uobičajene su za priobalne karbonatne vodonosnike. One s jedne strane odražavaju svojstva naslaga s kojima dolaze u kontakt, a s druge strane su pod kontinuiranim utjecajem osjetljive dinamičke ravnoteže slatke i slane vode zbog utjecaja mora. Tako se hidrogeokemijski facijesi, određeni Piperovim dijagramom, na svim uzorkovanim lokacijama kreću od kalcijsko–hidrogenkarbonatnih ($\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$), koji su posljedica otapanja karbonatnih stijena, prevladavajuće vapnenci, do natrijsko-kloridnih, koji su posljedica miješanja s morskom vodom (Slika 5.3-4). Manje vidljiv utjecaj mora je na uzorcima s bušotina B2, B4 i B5, a najveći na B8 i povremenom izvoru Lokvica, koji je veći dio godine suh. Vodoopskrbni zdenci imaju mješoviti facijesi, s najmanjim utjecajem mora vidljivim na Studencu pa Gugiću.

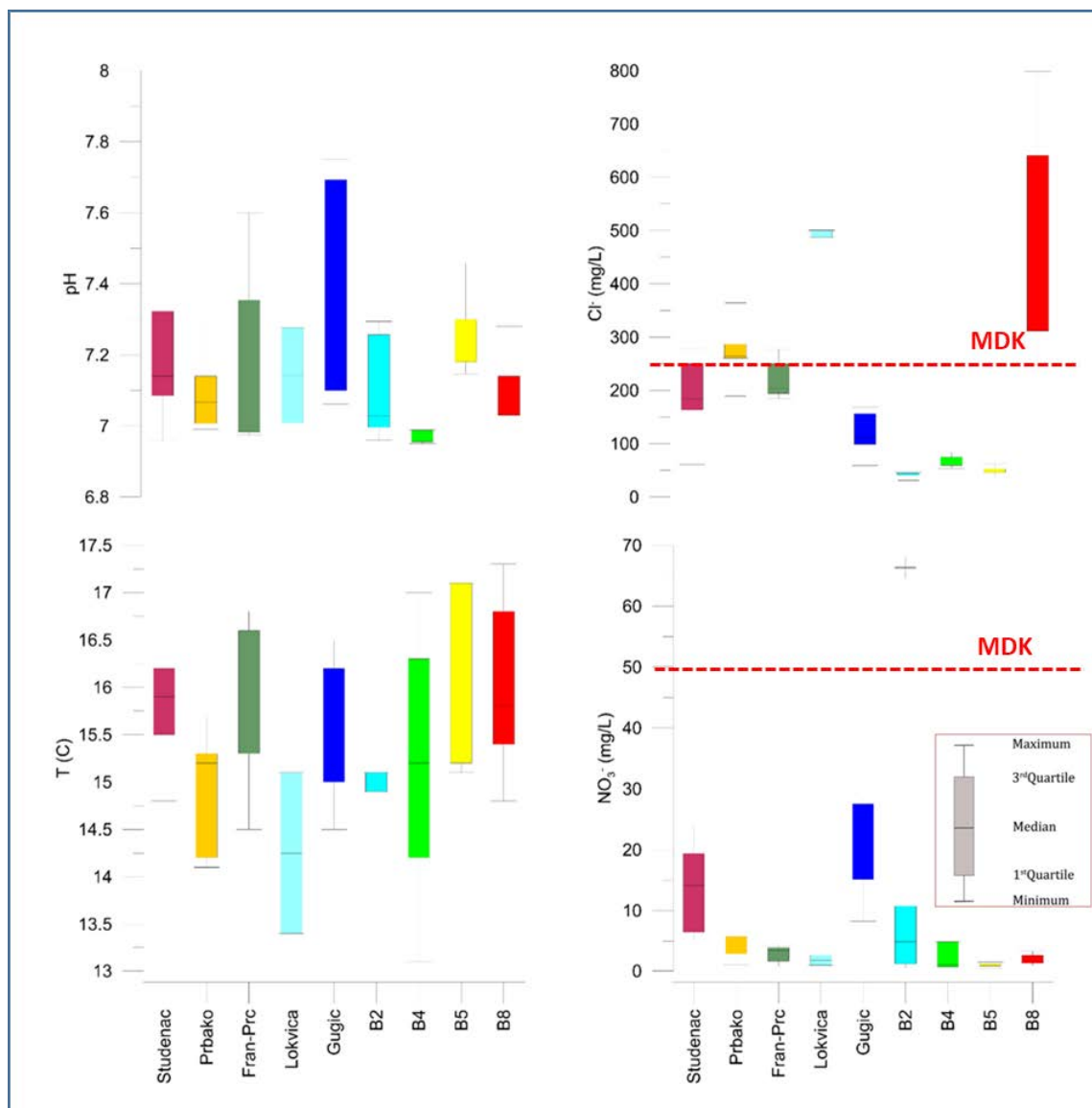


Slika 5.3-4. Piperov dijagram izrađen na temelju rezultata sedam kampanja uzorkovanja podzemnih voda sa zdenaca i bušotina na istraživanom području. Legenda: siva boja prikazuje simbole svake lokacije, a različite boje se odnose na različite kampanje.

Na Box-Whisker dijagramima (Slika 5.3-5) vide se karakteristične vrijednosti pH, temperature, klorida i nitrata na svim opažanim lokacijama. Može se zaključiti kako su podzemne vode Blatskog polja neutralne do blago alkalne, s temperaturom koja se kreće oko prosječne godišnje temperature zraka ovog područja (15.6 °C, Poglavlje 3).

Koncentracije klorida na vodoopskrbnim zdencima su povišene (Slika 5), ali tek rijetko prelaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju u vodi za piće (250 mg/L; NN 125/17). Nitrati su na većini lokacija ispod 10 mg/L tijekom

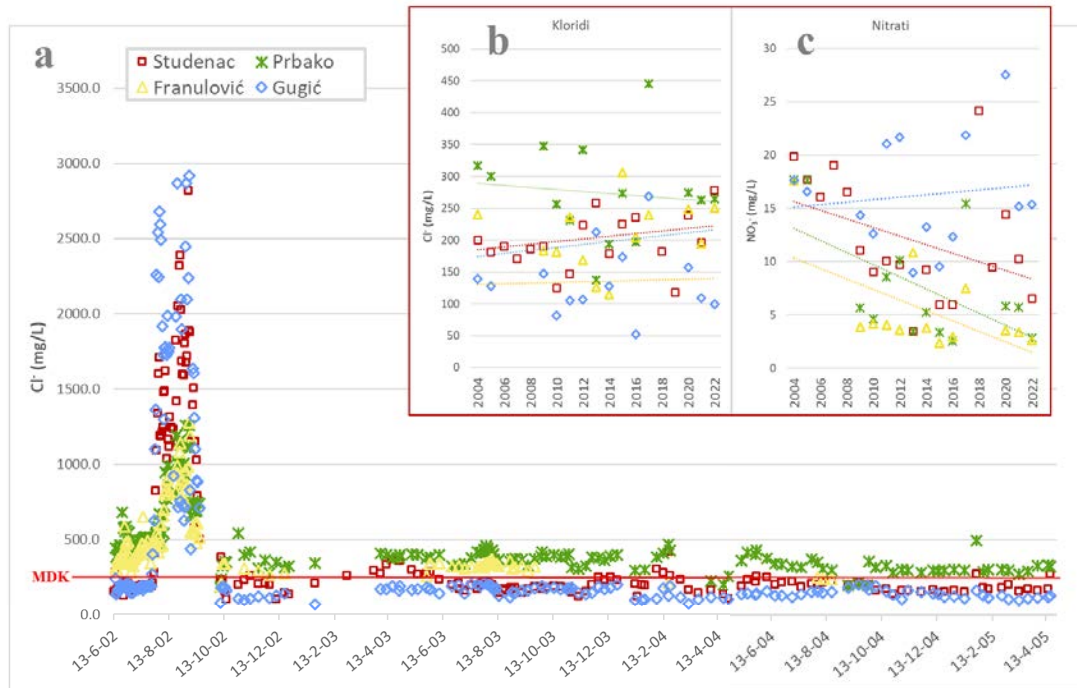
cijele godine. Nešto veći raspon je zabilježen na Studencu, Gugići i bušotini B2, gdje je u 7. mjesecu 2021. detektirana koncentracija iznad MDK u vodi za piće (50 mg/L; NN 125/17)



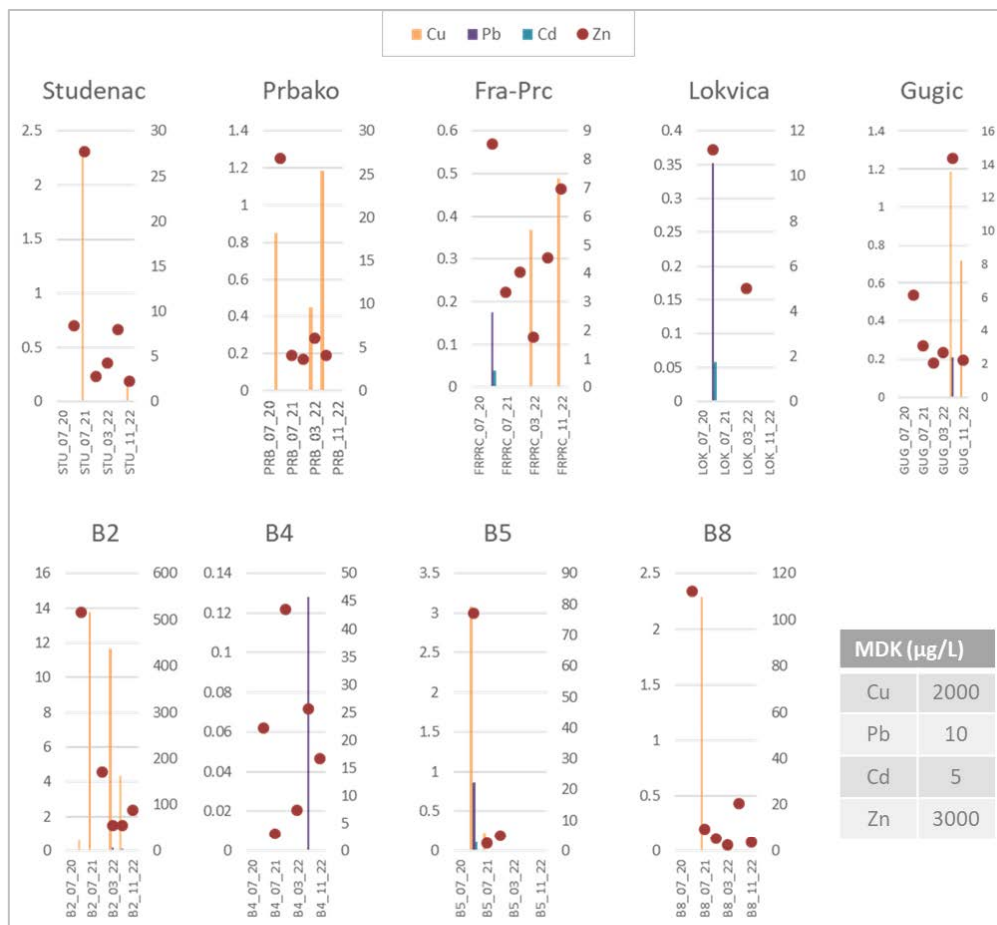
Slika 5.3-5. Boxs-Whisker dijagramimi

Na kvalitetu podzemne vode istraživanog područja u negativnom smislu mogu utjecati dva glavna čimbenika: onečišćenje iz slijeva (ponajprije od poljoprivrede i otpadnih voda) te zaslanjenje zbog prodora morske vode u podzemlje. Ovi utjecaji pokušali su se procijeniti praćenjem višegodišnjih trendova nitrata i klorida u podzemnim vodama (Slika 5.3-6). Podatke je najvećim dijelom ustupio Vodovod Blato d.o.o, a dio podataka je prikupljen u sklopu brojnih ranijih istraživanja koje su izveli istraživači Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatskog geološkog instituta. Za analizu trendova korišteni su godišnji medijani koncentracija klorida i nitrata. U analizu nisu uvršteni podaci iz 2002. godine kada je došlo do prodora mora u vodonosnik te su zabilježeni ekstremi na svim vodoopskrbnim zdencima.

Na ovim grafovima se vidi kako su podaci vrlo raspršeni, iako se mogu uočiti blagi pozitivni trendovi (odnosno povećanje zaslanjenja) unutar otprilike 20-godišnjeg razdoblja, i negativni trendovi nitrata, odnosno njihovo smanjenje, što se pozitivno odražava na kvalitetu vode. Ipak, ovi se rezultati ne mogu smatrati pouzdanima jer se tijekom razdoblja broj opažanja od jedanput mjesečno sveo na samo jedanput godišnje i to na značajno smanjenom broju lokacija.



Slika 5.3-6. Trendovi klorida i nitrata na vodoopskrbnim zdencima za razdoblje od 2003. do 2022.



Slika 5.3-7. Elementi u tragovima mjereni u uzorcima vode svih opažanih lokacija

Analize elemenata u tragovima (Cu, Pb, Zn, Cd) ukazuju na znatno niže koncentracije svih opažanih elemenata od maksimalno dozvoljenih u vodi za piće (Slika 5.3-7). Tu je osobito važno istaknuti bakar (Cu) koji ukazuje na utjecaj upotrebe konvencionalnih zaštitnih sredstava u vinogradarstvu koje u ovom kraju predstavlja najdominantniju

poljoprivrednu djelatnost. U nešto višim koncentracijama je registriran tek Zn, no njegovo podrijetlo je najvjerojatnije od materijala bušotina na samim lokacijama.

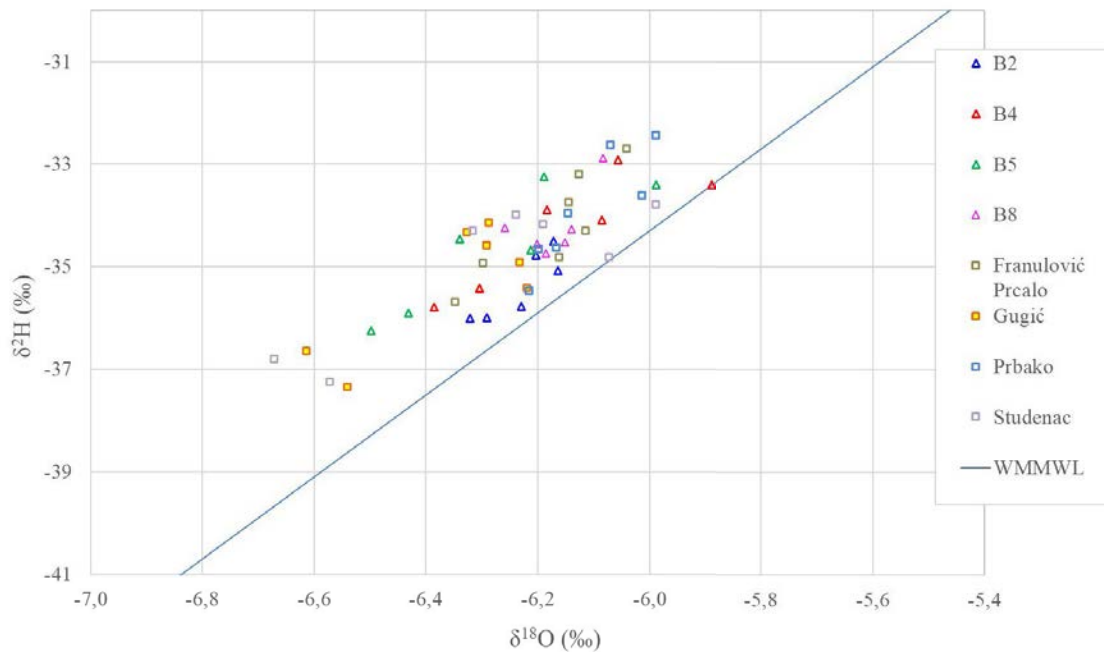
Pored svih spomenutih analiza, jednokratno je napravljena i analiza specifičnih mikronečišćivala u uzorcima uzetih na bušotini B2 i zdencu Studenac. Zbog vrlo niskih koncentracija u vodnim resursima, ovi spojevi su se tek u zadnjem desetljeću počeli učestalije mjeriti uslijed napretka tehnologije, no još uvijek ima vrlo malo podataka u podzemnim vodama, osobito u krškim vodonosnicima (Lukač Reberski et al., 2022). Zbog toga ti spojevi još uvijek većinom nisu pojedinačno regulirani, niti im je poznat utjecaj na zdravlje ljudi i okoliš. Od 365 spojeva koji su analizirani, 12 spojeva je detektirano na Studencu, a 8 na bušotini B2 u koncentracijama iznad granice detekcije primijenjene metode analize. Unatoč tome što su ove lokacije međusobno udaljene tek oko 2 km, samo 2 spoja, koji su varijante istog spoja (1H-benzotriazola), su se pojavila na oba. Ovaj spoj spada u grupu industrijskih spojeva, a upotreba mu može biti vrlo široka. Jedna od mogućih upotreba su antikorozivna sredstva pa bi porijeklo ovog spoja moglo biti iz same crpne konstrukcije. Iako je analizirano čak 236 pesticida, u uzorku sa zdenca Studenac detektiran je tek jedan spoj u granicama iznad detekcije, no njegova je koncentracija još uvijek deset puta niža od MDK (100 ng/L), koja je tek nedavno određena za bilo koji pesticid pojedinačno prema EU Direktivi. Lijekovi su detektirani jedino na Studencu, i to u koncentracijama koje su znatno više u odnosu na ostale krške izvore Hrvatske. Porijeklo lijekova može biti iz otpadnih voda, curenja iz septičkih jama, s odlagališta otpada ukoliko nisu propisno odlagani. S obzirom da se Studenac koristi u vodoopskrbi, trebalo bi provesti dodatna istraživanja kako bi se utvrdilo porijeklo lijekova i osigurala učinkovita zaštita.

Tablica 5.3-3. Rezultati analize specifičnih mikronečišćivala na bušotini B2 i vodoopskrbnom zdencu Studenac

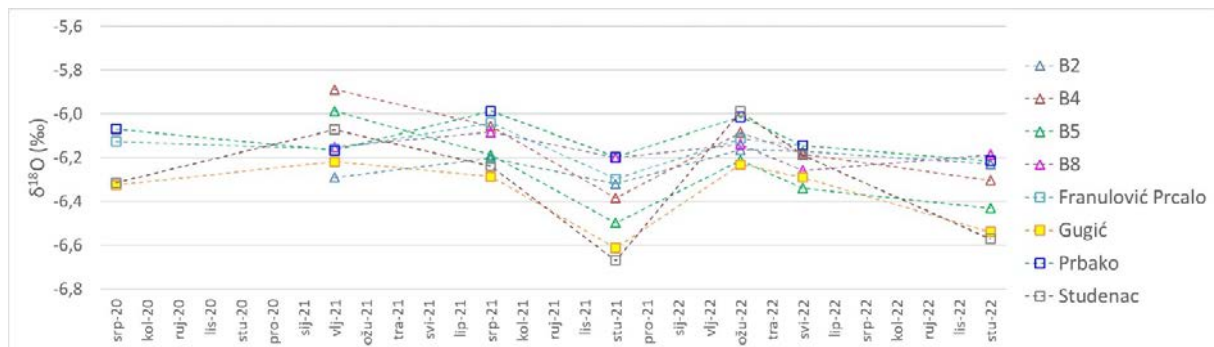
| Sampling date | | 22-11-22 | 22-11-22 |
|----------------------------|-------------|----------|----------|
| Sample name | Grupa spoja | STU | B2 |
| Unit | | ng/l | ng/l |
| Bisphenol A | IND | <50,0 | 2310 |
| Imidacloprid | AGR | 12.1 | <5,0 |
| Carbamazepine | PHARM | 36.5 | <10,0 |
| Saccharin | LS | <50,0 | 366 |
| Tramadol | PHARM | 53.0 | <10,0 |
| Cotinine | LS | <20,0 | 121 |
| Paraxanthine | LS | <100 | 101 |
| Acesulfam | LS | 60.6 | <50,0 |
| Bisphenol S | IND | <20,0 | 99.4 |
| Oxypurinol | PHARM | 893 | <50,0 |
| Lamotrigine | PHARM | 74.3 | <10,0 |
| DEET - diethyltoluamide | PCP | <10,0 | 143 |
| PFOS | IND | 5.76 | <3,00 |
| PFOA | IND | 7.77 | <5,00 |
| 1-H-Benzotriazole | IND | 30.4 | 613 |
| 5-methyl-1-H-Benzotriazole | IND | 26.5 | 947 |
| Diatrizoate | PHARM | 387 | <50,0 |
| Valsartan acid | PHARM | 31.7 | <10,0 |

Izotopni sastav stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika ($\delta^2\text{H}$) određen je u sedam terenskih kampanja na vodoopskrbnim zdencima, dok je u podzemnim vodama istražnih bušotina sastav izotopa određen u šest terenskih kampanja. Dijagram na slici 5.3-8. prikazuje izotopni sastav svih prikupljenih uzoraka podzemne vode u odnosu na Zapadno-Mediterransku oborinsku liniju vode (WMMWL). Na temelju dobivenog može se zaključiti

kako uzorkovane vode nemaju veće odstupanje od WMMWL što nam govori da su porijeklom dominantno iz oborinskih voda i nisi bile izložene sekundarnim procesima. To je tipično za većinu krških voda (Goldscheider & Drew, 2007).



Slika 5.3-8. Izotopni sastav prikupljenih uzoraka podzemne vode u odnosu na Zapadno-Meditransku oborinsku liniju vode (WMMWL)

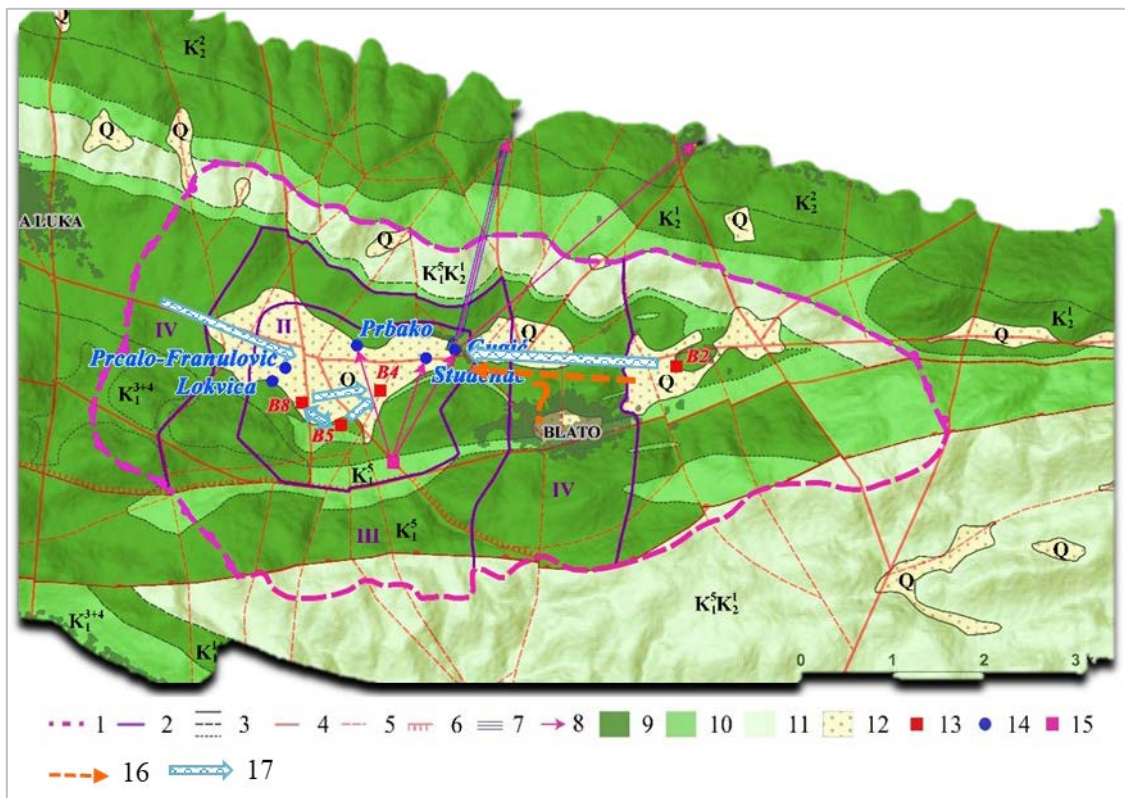


Slika 5.3-9. Trend sadržaja izotopa $\delta^{18}O$

Međutim visoke vrijednosti (pozitivnije) sadržaja opaženih izotopa ($\delta^{18}O$ -38 do -32 ‰; δ^2H -5,9 do -6,7 ‰) reflektiraju utjecaj mora što nas navodi na zaključak da bez poznavanja komponenti miješanja ne možemo jednoznačno interpretirati dobivene rezultate. Tome u prilog ide prikaz trenda stabilnog izotopa kisika $\delta^{18}O$. Na slici 8. može se uočiti obogaćenje izotopom $\delta^{18}O$ u periodima niskih voda odnosno kada je izraženiji prodor mora u vodonosnik, s druge pak strane za vrijeme visokih razina, primjerice studeni 2021. godine, uočava se osiromašenje $\delta^{18}O$ što nam ukazuje na veći udio oborinskih voda u uzorkovanim vodama. Također, kako je razmatrani slijev relativno mali (oko 30 km²) možemo zaključiti da se promatrani vodni objekti napajaju iz istih oborina, no objekti pokazuju osiromašenje stabilnim izotopima kisika i vodika udaljavajući se od Vela Luke, odnosno iz smjera za koji je utvrđen najjači prodor mora. Tako u svim terenskim kampanjama vode Prbaka i bušotine B8 bilježe najpozitivnije vrijednosti, dok su u vodama Gugića i Studenca zabilježena veća osiromašenja promatranih izotopa.

5.3.3. Hidrodinamički odnosi slijeva Blatskog polja

Rezultati istraživanja provedenih u sklopu ovog projekta dali su detaljniji uvid u hidrodinamičke odnose u Blatskom vodonosniku (Slika 5.3-10). Na temelju rezultata ovih i ranijih istraživanja (Antunović et al., 2016; Terzić & Marković, 2005; Krznar, 1968) pretpostavljamo da je generalni smjer toka podzemne vode u Blatskom polju od zapada (Vela Luke) prema zdencima u istočnom dijelu polja (Prbako, Gugić i Studenac), no zbog malih gradijenta, lokalno se smjerovi mogu mijenjati, ovisno o hidrološkim uvjetima. Npr. iz rezultata ovih istraživanja, vidljivo je kako podzemne vode uvijek idu iz smjera B5 i B8 prema B4. Međutim, smjer podzemne vode na bušotini B5 se mijenja ovisno o hidrološkim prilikama, pa je u vrijeme visokih razina smjer toka prema B8, a u vrijeme nižih razina obrnuto. To je vjerojatno povezano s postojanjem lokalnog slijeva u zaleđu B5 čiji utjecaj, uslijed pojačanih tlakova, nadjača utjecaj glavnog Blatskog vodonosnika nakon jačih kiša. To potvrđuju i vrijednosti elektrolitičke vodljivosti, koje su na bušotini B5 najniže od svih zdenaca i stabilne po cijeloj dubini bušotine (Slika 5.3-3), unatoč tome što se nalazi tek 500-tinjak m udaljen od B8 koja ima najviše EC vrijednosti, najvećeg raspona i kolebanja. To bi se moglo objasniti povoljnim lokalnim hidrogeološkim uvjetima, odnosno postojanju slabije propusnih, pretežno dolomitnih naslaga u zaleđu zdenca, koji sprječavaju direktno zaslanjenje iz smjera B8 i osiguravaju kontinuirano prihranjivanje iz zaleđa, što se vidi i iz malih kolebanja T i EC na B5. Pored toga, ovime se može objasniti i neobičan, proporcionalan odnos rpv-a i EC-a na toj bušotini, gdje pad rpv-a dovodi i do pada EC-a i obrnuto. Smanjenje hidrodinamičkih tlakova u glavnom Blatskom vodonosniku, omogućuje veći doprinos vode iz zaleđa, koja ima niži EC.



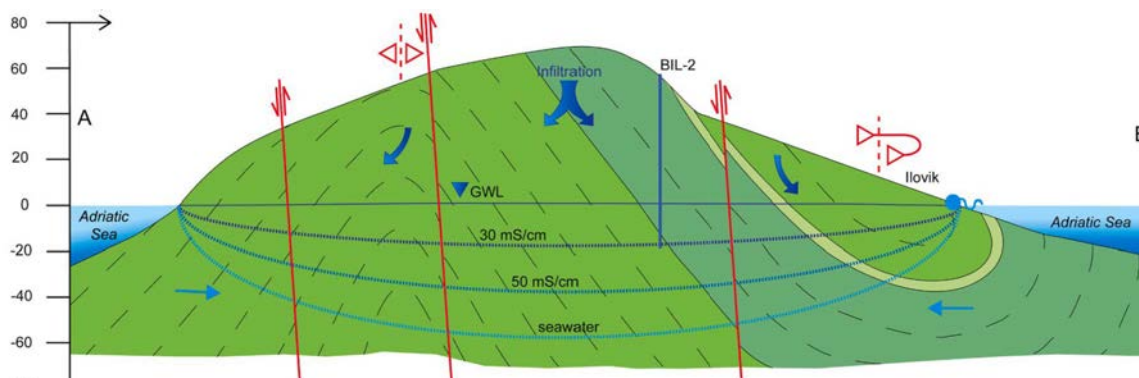
Slika 5.3-10. Pretpostavljeni hidrodinamički odnosi u Blatskom vodonosniku. Legenda: 1 granica slijeva; 2 granice zona sanitarne zaštite (II-IV); 3 geološke granice; 4 normalni rasjed; pretpostavljeni rasjed; 6 reverzni rasjed; 7 odvodni tunel; 8 podzemna veza utvrđena trasiranjem; 9 propusna stijenska masa; 10 srednje propusna stijenska masa; 11 slabo propusna stijenska masa; 12 kvartarno tlo naizmjeničnih svojstava; 13 bušotine; 14 zdeneci; 15 lokacija ubacivanja trasera; pretpostavljen smjer toka podzemne vode; nesiguran smjer toka podzemne vode.

S druge strane, smjer podzemne vode iz polja Velika Krtninja, gdje je locirana bušotina B2 na nadmorskoj visini 70 m n.m., je ugrubo prema zapadu, no nije sigurno dopijevaju li te vode do svih zdenaca lociranih u istočnom dijelu Blatskog polja. Trasiranjem koje je rađeno u polju Mala Krtninja (Antunović et al., 2016) dokazane su veze sa

zdencom Gugić, i nekoliko bušotina u krajnjem istočnom dijelu Blatskog polja, no veza s izvorom Studenac je dvojbena. Analize specifičnih mikronečišćivala na bušotini B2 i Studencu ukazuje na to da nema veze između ovih dvaju vodnih objekata jer, od svih detektiranih spojeva, samo dva spoja su detektirana u oba zdenca, dok su ostali spojevi različiti. Međutim, porijeklo spojeva koji su se pojavili na obje lokacije (dva tipa 1-H benzotriatola) može biti iz same tehničke konstrukcije vodnih objekata jer je česta primjena ovih spojeva u antikorozivnim sredstvima. Zbog toga se njihova detekcija na obje lokacije ne može koristiti kao pretpostavka za njihovu hidrauličku povezanost pa bi rezultati mogli ukazivati da veze među ova dva voda objekta nema u hidrološkim uvjetima zatečenim pri uzorkovanju.

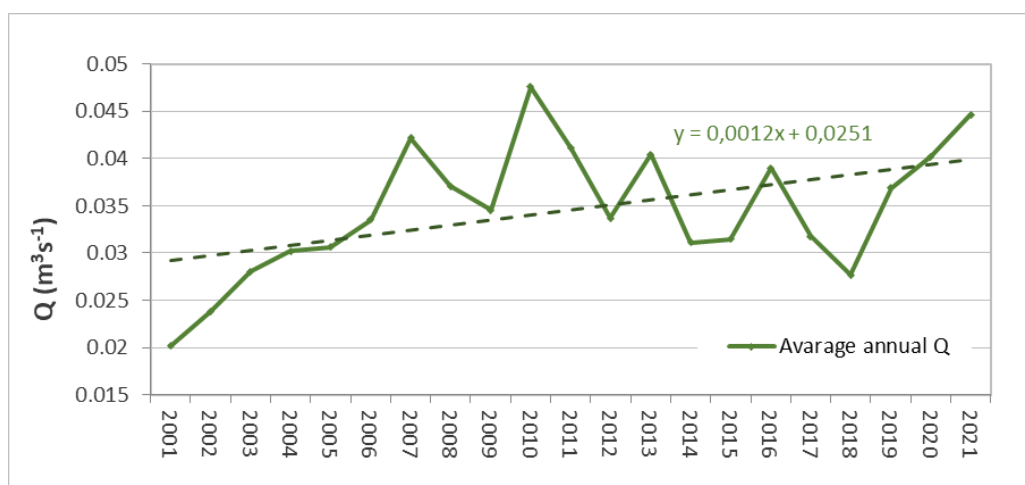
5.3.4. Utjecaj klimatskih promjena na Blatski vodonosnik

Blatski vodonosnik i vodoopskrba koja se na njemu temelji vrlo su osjetljiv sustav zbog brojnih nepovoljnih okolnosti kojima su izloženi. To su s jedne strane prirodni utjecaji, kao što je blizina mora i opasnost od prodora mora (Slika 5.3-11), što je osobito olakšano izrazitom okršenosti velikog dijela stijena koje izgrađuju vodonosnik. S druge strane, postoje brojni antropogeni utjecaji. Jedno od toga je izgradnja tunela 1912. godine za odvodnju poplavnih voda iz Blatskog polja. Isušivanje polja dovelo je do promjene dinamike i smanjenja razine podzemne vode (Terzić & Marković, 2005).



Slika 5.3-11. Primjer priobalnog vodonosnika i odnosa slatke i slane vode (Terzić et al., 2021)

Dodatni pritisak na ovaj vodonosni sustav su količine crpljenja zdenaca u Blatskom polju, koje iz godine u godinu rastu (Slika 5.3-12). U 20-godišnjem razdoblju, količine crpljenja su porasle oko 30 %, s prosječnih 30 L/s godišnje na prosječnih 40 L/s što je veliko povećanje, koje se približava maksimalnim crpnim količinama (60 L/s).



Slika 5.3-12. Prosječne godišnje količine crpljenja na vodoopskrbnim zdenacima u Blatskom polju (podaci dobiveni od Vodovoda Blato d.o.o.)

U godinama kada prorade drenažni kanali u polju i voda istječe kroz odvodni tunel prema moru (uvala Bristva), nema zaslanjivanja zbog crpljenja. S druge strane, kada su godine sušnije, obično ne „prorade“ ni kanali u polju, nema nikakvih otjecanja kroz tunel i podzemne vode se ne obnavljaju u dovoljnoj mjeri, te se krajem sušne sezone događa prekomjerno zaslanjenje zdenaca uzrokovano precrcpljivanjem (Terzić & Marković, 2005). Ti su događaji relativno rijetki i za njih su potrebna duža i jača sušna razdoblja, što je ujedno i slabo dokumentirano jer nema dokumentacije koja bi sustavno pratila i opisivala takve fenomene. Dakle, retencijski je prostor vodonosnika ograničen i količina koja se crpi ima relativno visok udio u ukupnom godišnjem obnavljanju.

Pored zaslanjenja, negativni utjecaji na kvalitetu podzemne vode mogu se očekivati od onečišćivača u slijevu, ponajprije otpadnih voda i poljoprivrede. Zanimljivo je da unatoč intenzivnoj poljoprivredi u Blatskom polju, od 236 analizirana pesticida u vodama uzorkovanim s B2 i Studenca detektiran je samo jedan pesticid. U vrijeme uzorkovanja razine podzemne vode bile su visoke, i prethodila je sezona učestalih i jačih kiša pa je moguće da su sredstava koja se koriste u poljoprivredi već isprana i dodatno razrijeđena. Uzorkovanja bi trebalo ponoviti u više hidroloških uvjeta što bi doprinijelo dodatnim spoznajama o utjecaju poljoprivrede, ali i ostalim mogućim negativnim utjecajima u slijevu. Analizom promjena korištenja zemljišta (Poglavlje 6.5), ustanovljeno je kako je u 10-godišnjem razdoblju došlo do povećanja prirodnih te smanjenja umjetnih i obradivih površina, najvjerojatnije zbog slabijeg interesa mladih za poljoprivrednu djelatnost. S obzirom da veći dio Blatskog polja pripada II. zoni sanitarne zaštite (Terzić i Marković, 2005), to se pozitivno odražava na kvalitetu podzemne vode. Međutim, nikako nije poželjno smanjivanje obradivih površina, nego se trebaju mijenjati poljoprivredne prakse i s konvencionalnog uzgoja prijeći na ekološki, kako je i propisano Pravilnikom o zonama sanitarne zaštite za II. zonu sanitarne zaštite (NN 66/2011).

Usporedba rezultata klimatoloških analiza provedenih u sklopu ovog projekta (Poglavlje 3) s analizama provedenim u sklopu projekta CCwaterS prije 10-ak godina, ukazuje na to da se u posljednjem desetljeću nastavilo smanjenje ljetne količine oborine, ali u blažoj mjeri, dok se zimski trend smanjenja količine oborine znatno povećao u usporedbi s rezultatima analiza provedenih u sklopu projekta CCwaterS.

Sve spomenute moguće nepovoljne utjecaje na podzemne vode u slijevu Blatskog polja treba uzeti s dodatnim oprezom zbog činjenice da se u novije vrijeme događaju klimatske promjene koje mogu dodatno opteretiti ovaj osjetljiv, a ujedno dragocjen resurs pitke vode na otoku. Klimatske promjene najviše se odražavaju na učestalije ekstremne oborine i produženje sušnih razdoblja ljeti, kada su i potrebe za vodom u ovom kraju najveće, djelomično zbog turizma, djelomično zbog navodnjavanja poljoprivrednih površina.

Zbog toga, od velike je važnosti uspostaviti trajni monitoring i sustavno pratiti trendove količine i kvalitete vode Blatskog vodonosnika. To, kao i dodatna trasiranja, omogućilo bi rješavanje otvorenih pitanja vezanih uz dinamiku sustava, ranjivost, te određivanje glavnih onečišćivača u slijevu i njihovo porijeklo. Osim toga, to bi omogućilo i analizu utjecaja sve češćih ekstremnih događaja (bilo jakih i kratkotrajnih kiša, ili produženih suša) na rezerve podzemne vode i dinamiku obnavljanja vodonosnika, o čemu se jako malo zna. Ekstremni kišni događaji mogu predstavljati veliku opasnost za prirodno obnavljanje vodonosnika jer se tako velike količine oborine ne mogu tako brzo infiltrirati u podzemlje pa višak odlazi direktno u more i ne sudjeluje u sezonskoj obnovi rezervi vodonosnika. Dugoročno to može predstavljati veliki rizik za vodoopskrbu. Pored toga, ekstremno zaslanjenje podzemnih voda poput onog koje se dogodilo 2002. g na svim vodoopskrbnim zdencima (Slika 5.3-6), uzrokovano kombinacijom crpljenja s količinama blizu maksimuma i smanjenog obnavljanja vodonosnika uslijed dugog sušnog razdoblja, moglo bi u budućnosti biti sve češće. Sustavnim monitoringom stvorili bi se uvjeti za pravovremeno reagiranje na rizike koje prijete budućoj sigurnoj vodoopskrbi.

6. RIZICI OD NEGATIVNIH UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA RAZLIČITE SEKTORE

U priobalnim vodonosnicima negativni utjecaji klimatskih promjena očituju se u povećanju saliniteta i temperature podzemne vode te pogoršanju kakvoće što uzrokuje nemogućnost ili ograničenje korištenja tih vodnih resursa za potrebe javne vodoopskrbe. Osim vodnoga gospodarstva, priobalni vodonosnici vrlo su bitni i za sektore turizma, poljoprivrede i zdravstva, koji su jako povezani sa sektorom vodnog gospodarstva.

U nastavku je dat prikaz projekcija klime u Republici Hrvatskoj do 2040. godine s pogledom do 2070. godine kroz pet osnovnih elemenata: temperaturu zraka, broj sunčanih dana (sunčano zračenje), vlažnost zraka, brzinu i kretanje vjetra i količine oborina. U sklopu Sedmoga nacionalnog izvješća i trećeg dvogodišnjeg izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji UN-a o promjeni klime (MZOE, 2018) procjenu mogućih klimatskih promjena u Hrvatskoj za razdoblje 2041. - 2070. izradio je Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske (DHMZ) (Tablica 6-1).

Tablica 6-1. Projekcija klime u Republici Hrvatskoj do 2040. s pogledom do 2070. godine (MZOE, 2018)

| GODIŠNJE DOBA | Projekcije buduće klime prema scenariju RCP4.5 u odnosu na razdoblje 1971.-2000. godine dobivene klimatskim modeliranjem | |
|----------------------|--|---|
| | 2011.-2040. | 2041.-2070. |
| OBORINE | Srednja godišnja količina: malo smanjenje (osim mali porast u SZ Hrvatskoj) | Srednja godišnja količina: daljnji trend smanjenja (do 5 %) u gotovo cijeloj Hrvatskoj (osim u SZ dijelovima) |
| | Sezone: različit predznak; zima i proljeće u većem dijelu Hrvatske manji porast 5-10 %, a ljeto i jesen smanjenje (- 5-10% u J Lici i S Dalmaciji) | Sezone: smanjenje u svim sezonama (do 10 % gorje i S Dalmacija) osim zimi (povećanje 5-10 % S Hrvatska) |
| | Smanjenje broja kišnih razdoblja (osim u središnjoj Hrvatskoj gdje bi se malo povećao) Broj sušnih razdoblja bi se povećao | Broj sušnih razdoblja bi se povećao |
| SNJEŽNI POKROV | Smanjenje (najveće u Gorskom kotaru, do 50 %) | Daljnje smanjenje (naročito planinski krajevi) |
| POVRŠINSKO OTJECANJE | Nema većih promjena u većini krajeva, no u gorskim predjelima i zaleđu Dalmacije smanjenje do 10 % | Smanjenje otjecanja u cijeloj Hrvatskoj (osobito u proljeće) |
| TEMPERATURA ZRAKA | Srednja: porast 1-1,4 °C (sve sezone, cijela Hrvatska) | Srednja: porast 1,5-2,2 °C (sve sezone, cijela Hrvatska – naročito kontinent) |
| | Maksimalna: porast u svim sezonama 1-1,5 °C | Maksimalna: porast do 2,2 °C ljeti (do 2,3 °C na otocima) |
| | Minimalna: najveći porast zimi od 1,2-1,4 °C | Minimalna: najveći porast na kontinentu zimi 2,1-2,4 °C, a 1,8-2,0 °C primorski krajevi |
| EVAPORTANSPIRACIJA | Povećanje u proljeće i ljeto 5-10 % (vanjski otoci i Z Istra > 10 %) | Povećanje do 10 % veći dio Hrvatske, pa do 15 % na obali i zaleđu te do 20 % na vanjskim otocima |
| SREDNJA RAZINA MORA | 2046.-2065. 19-33 cm (IPCC AR5) | 2081.-2100. 32-65 cm (procjena prosječnih srednjih vrijednosti za Jadran iz raznih izvora) |

6.1. Utjecaj klimatskih promjena na sektor vodnog gospodarstva

U području vodnoga gospodarstva glavni očekivani utjecaji klimatskih promjena su: smanjenje količina voda u vodotocima i na izvorištima, smanjenje vodnih zaliha u podzemlju i snižavanje razina podzemnih voda, smanjenje razine vode u jezerima, porast razine mora, zaslanjivanje priobalnih vodonosnika i akvatičkih sustava, porast temperature podzemne i površinske vode, povećanje učestalosti i intenziteta poplava na ugroženim područjima, povećanje intenziteta i učestalosti pojava bujica, povećanje učestalosti i intenziteta poplava od oborinskih voda u urbanim područjima, povećanje vjerojatnosti od poplava na ušćima rijeka te smanjenje učinkovitosti obalne infrastrukture (NN 46/20).

Iako je Republika Hrvatska bogata vodom, u krškim područjima se zbog specifične građe krških vodonosnika i male mogućnosti dugotrajnijeg akumuliranja vodnih rezervi u vrijeme kritičnih sušnih razdoblja, mogu u uvjetima daljnjeg intenziviranja klimatskih promjena očekivati znatni problemi u sektoru vodnoga gospodarstva. Uz navedene prirodne utjecaje, dodatno se očekuju i negativni utjecaji zbog povećanih potreba za vodom. Razvojem turizma, i općenito povećanjem standarda života, povećavaju se potrebe za pitkom vodom, a to je posebice izraženo tijekom dužih sušnih (ljetnih) razdoblja kada su smanjeni dotoci u vodonosnicima iz uzvodnih zona, odnosno iz zona prihranjivanja vodonosnika. Raste i potrošnja vode iz vodoopskrbnih sustava za druge potrebe, prije svega zalijevanje okućnica i javnih zelenih prostora, Uz to, povećavaju se i potrebe za vodom za navodnjavanje poljoprivrednih površina koje, kad se i zadovoljavaju iz alternativnih vodnih resursa, čine količinski pritisak i na izvorišta vodoopskrbe. Taj količinski pritisak na pojedinim lokacijama može dovesti i do promjene kakvoće voda u smislu intenziviranja prodora zaslanjene morske vode dublje u krške vodonosnike.

Očekuje se, da će pri tome najugroženiji biti priobalni i otočni vodonosnici gdje ovi utjecaji mogu uzrokovati vrlo velike probleme u normalnoj organizaciji javne vodoopskrbe, kao i povećanje problema zbog intruzije zaslanjene vode u krške priobalne vodonosnike.

U **tablici 6.1-1** prikazani su utjecaji i izazovi klimatskih promjena u sektoru vodnoga gospodarstva, kao i mogući odgovori na njih.

Tablica 6.1-1. Prikaz utjecaja i izazova prilagodbe klimatskim promjenama u području vodnih resursa (NN 46/20)

| Utjecaji i izazovi koji uzrokuju visoku ranjivost | Mogući odgovori na smanjenje visoke ranjivosti |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - smanjenje količina voda u vodotocima i na izvorištima; - smanjenje vodnih zaliha u podzemlju i snižavanje razina podzemnih voda; - smanjenje razine vode u jezerima i drugim naježurenim prirodnim ili izgrađenim sustavima; - porast razine mora i promjene topline mora; - zaslanjivanje priobalnih vodonosnika i akvatičkih sustava; - porast temperatura vode praćen smanjenjem prihvatne sposobnosti akvatičkih prijemnika; - povećanje učestalosti i intenziteta poplava na ugroženim područjima; - povećanje učestalosti i intenziteta pojava bujica; - povećanje učestalosti i intenziteta poplava od oborinskih voda u urbanim područjima; | <ul style="list-style-type: none"> - jačanje stručnih, istraživačkih i upravljačkih kapaciteta za ocjenu pojavnosti i rizika negativnih utjecaja klimatskih promjena i prilagodbu slatkovodnih i morskih ekosustava; - izgradnja, rekonstrukcija i dogradnja postojećih sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda uz pristup davanja prostora rijekama i korištenja prirodnih retencija, sustava za korištenje voda i za zaštitu voda te ostalih višenamjenskih hidrotehničkih sustava u novim (budućim) klimatskim uvjetima; - jačanje otpornosti obalne vodno-komunalne infrastrukture na moguće utjecaje klimatskih promjena; - primjena integralnog pristupa u gospodarenju vodnim resursima i sustavima te intenziviranje međusektorskih sagledavanja i aktivnosti; - jačanje zaštite prirodnih vodnih i morskih sustava, a posebno zaštićenih područja i područja ekološke mreže od negativnih utjecaja klimatskih promjena kao i za njihovu prilagodbu. |

Današnji priobalni vodonosni sustavi nastali su uglavnom tijekom kvartara, najmlađeg geološkog razdoblja, u kojem su bile karakteristične izmjene ledenih i međuledenih doba. U tom razdoblju bili su aktivni i tektonski pokreti, kao i erozijski procesi, koji su oblikovali krška područja Dinarida na način kako i danas izgledaju. Izmjene ledenih i međuledenih doba bitno su utjecale na promjene razina mora. Svakim zatopljenjem dolazilo je do porasta razine mora, a tijekom zadnjeg ledenog doba (Würm), razina Jadranskog mora bila je niža oko 100 m od današnje (Šegota, 1968), odnosno prema Pirazzoli (2000) te Antonioni & Silenzi (2007) čak i preko 120 m niža. Najintenzivniji procesi okršavanja odvijaju se u zoni razine mora, odnosno zoni plime i oseke, pa je postepeno podizanje razine mora do današnjih dana utjecalo na postepeno okršavanje karbonatnih stijena koje danas doseže i preko 100 m dubine.

Priobalni i otočki vodonosnici predstavljaju vrlo široku zonu istjecanja krških vodonosnika Jadranskog sliva. U većem dijelu tih vodonosnika, zbog otvorenosti geoloških struktura, podzemna voda dolazi u direktan kontakt sa zaslanjenom morskom vodom. Takav odnos ima za posljedicu vrlo labilnu dinamičku ravnotežu slane i slatke vode u krškim vodonosnicima. U zonama kontakata slane i slatke vode nema oštrih granica, već se formiraju zone miješanja slatke i slane vode, a njihova veličina i položaj ovise o dotocima slatke vode iz zaleđa vodonosnika, razini mora, ali i geološkoj građi vodonosnika.

Jedan od glavnih faktora koji utječe na ponašanje zone miješanja slatke i slane vode, ali i mogućnost zaslanjenja priobalnog ili otočkog vodonosnika je eksploatacija podzemnih voda. Ona bi trebala ostati u granicama količina koje ne bi trebale poremetiti odnos slatke i slane vode do razmjera da dođe do zaslanjenja priobalnih vodonosnika, ili nekih njihovih dijelova.

Klimatske promjene mogu znatno utjecati na sektor vodnog gospodarstva, ali posredno i na druge sektore u kojima je bitna stabilnost sektora vodnoga gospodarstva. To je npr. sektor zdravstva, poljoprivrede i turizma koji su opisani kroz naredna poglavlja.

6.2. Utjecaj klimatskih promjena na sektor zdravstva

Zbog povećanja učestalosti i trajanja ekstremnih vremenskih uvjeta, ali i utjecaja ostalih važnih klimatskih parametara, glavni očekivani utjecaji klimatskih promjena na sektor zdravstva su: povećanje smrtnosti, promjene u epidemiologiji kroničnih nezaraznih bolesti, promjene u epidemiologiji akutnih zaraznih bolesti, sniženje kvalitete zraka, sigurnosti vode i zraka te razine moguće štetnih čimbenika u okolišu (NN 46/20). To će se najčešće manifestirati kroz povećanje broja oboljelih od akutnih i kroničnih bolesti odnosno povećanje smrtnosti zbog produženih razdoblja s visokim temperaturama zraka, kao i povećanog oboljenja dišnih sustava zbog povećane alergene peludi u zraku.

S druge strane, zbog očekivanog smanjenja razdoblja niske temperature zraka i snježnog pokrivača, očekuje se i manja smrtnost, tj. manji broj iznenadnih smrti zbog utjecaja niskih temperatura na zdravlje. Kako klimatski model u oba promatrana buduća razdoblja predviđa i smanjenje količine ekvivalentne vode snijega, tj. količinu vode koja bi nastala u slučaju trenutnog topljenja snijega, moguć je utjecaj na smanjenje broja ozljeda i učinkovitiju dijagnostiku i terapiju ozljeda zbog smanjenja pojavnosti i trajanja ekstremnih snježnih oborina (NN 46/20).

U kontekstu zdravlja, posebno je problematično očekivano dugotrajnije, sezonsko korištenje pitke vode s povećanim koncentracijama klorida koje, i u situacijama kada su ispod MDK vrijednosti, ipak predstavljaju ozbiljan zdravstveni rizik. U istraživanju obalnog dijela Bangladeša (Nahian et al., 2018) utvrđeno je da je visoki krvni tlak (prehipertenzija i hipertenzija) značajno povezan s konzumacijom zaslanjene vode. Osobe izložene blago slanoj vodi (1000–2000 mg/l) i umjereno slanoj vodi (≥ 2000 mg/l) imali su 17% ($p < 0,1$) odnosno 42% ($p < 0,05$) veću vjerojatnost da budu hipertoničari, u odnosu na osobe koje su konzumirale slatku vodu (< 1000 mg/l). Žene su imale 31% veće šanse za razvoj hipertenzije od muškaraca. Također, ispitanici stariji od 35 godina imali su oko 2,4

puta veću vjerojatnost razviti hipertenziju u usporedbi s dobnom skupinom ispod 35 godina. Za dobnu skupinu starijih od 35 godina, prevalencija hipertenzije bila je veća od nacionalne ruralne statistike (50,1%) za osobe koje su konzumirale zaslanjenu vodu. Iako su utvrđene male sezonske varijacije u salinitetu vode za piće, krvni tlak je pokazao rastući trend i maksimum tijekom sušnih sezona. Utvrđeno je da su srednji salinitet i povezana prevalencija hipertenzije viši za duboki vodonosnik (21,6%), u usporedbi s plitkim vodonosnikom (20,8%).

U razdoblju od 2009. do 2011. godine provedena se istraživanja (Khan et al., 2014) o povezanosti između saliniteta vode za piće i rizika od (pre)eklampsije i gestacijske hipertenzije. Naime, poremećaji hipertenzije u trudnoći jedan su od vodećih uzroka majke i perinatalne smrti u zemljama s niskim dohotkom, dok etiologija ostaje nejasna. Temeljem dobivenih rezultata autori su zaključili da je salinitet vode za piće povezan s povećanim rizikom od (pre)eklampsije i gestacijske hipertenzije istraživanoj populaciji. S obzirom da je obalno stanovništvo u zemljama poput Bangladeša izloženo vodi za piće povišenog saliniteta, za koji se predviđa daljnje rast kao rezultat porasta razine mora i drugih utjecaja na okoliš, nužno je razviti i evaluirati pristupačne načine opskrbe vodom s niskim udjelom soli.

Salinitet vode za piće povezan je s kardiovaskularnim bolestima, proljevom i boli u trbuhu (Chakraborty et al., 2019). Kućanstva izložena vodi visokog saliniteta pokazala su veću učestalost posjeta bolnicama od kućanstva izloženih vodi niskog saliniteta. Ljudi izloženi vodi povišenog saliniteta nisu dovoljno educirani o mogućim posljedicama za zdravlje. Slana voda za piće predstavlja javnozdravstveni problem koji će uslijed klimatskih promjena dalje rasti. Stoga je neophodno podizanje svijesti o zdravstvenim rizicima slanosti vode te oblikovanje politike i strategije ublažavanja posljedica ovog rizika za zdravlje ljudi.

U tablici 6.2-1 prikazani su utjecaji i izazovi klimatskih promjena u sektoru vodnoga gospodarstva, kao i mogući odgovori na njih.

Tablica 6.2-1. Prikaz utjecaja i izazova prilagodbe klimatskim promjenama u sektoru zdravstva (NN 46/20)

| Utjecaji i izazovi koji uzrokuju visoku ranjivost | Mogući odgovori na smanjenje visoke ranjivosti |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - povećanje smrtnosti stanovništva - promjene u epidemiologiji kroničnih nezaraznih bolesti - promjene u epidemiologiji akutnih zaraznih bolesti - snižena kvaliteta vanjskog i unutrašnjeg zraka zbog ekstremno visokih i niskih temperatura i količina oborina - češća i dugotrajnija razdoblja nedostupnosti zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju - porast razine kontaminanata i onečišćujućih tvari u okolišu - utjecaj na epidemiologiju bolesti povezanih s klimatskim čimbenicima | <ul style="list-style-type: none"> - jačanje kompetencija zdravstvenog sustava o utjecajima klimatskih promjena na zdravlje - jačanje kompetencija zdravstvenog sustava za odgovor tijekom buduće prilagodbe - utvrđivanje sektorskih prioriteta djelovanja povezanih s klimatskim promjenama - proširenje sustava praćenja zdravstveno-ekoloških indikatora povezanih s klimatskim promjenama i sustava procjene rizika |

U krškim vodonosnicima, u uvjetima visokih vodnih pojava poslije dugih sušnih razdoblja, dolazi do povećanja mutnoće izvorske vode, koje prati obično i bakteriološko onečišćenje. To je karakteristična pojava za sve krške izvore (Bonacci, 1987; COST 65, 1995). Mutnoću vode čine suspendirane čestice koje mogu potjecati iz samog izvora ili se mobilizirati resuspenzijom taloga pri povećanju brzine toka vode u razvodnoj mreži (Marinović & Petrović, 2019). Također, mutnoća može biti posljedica prisustva anorganskih čestica u podzemnim vodama ili otkidanja dijelova biofilma u distribucijskom sustavu (Denic-Jukić et al., 2012). Uglavnom je voda mutnoće manje od 5 NTU estetski prihvatljiva za potrošača (WHO, 2004). Međutim, čestice mutnoće mogu pružiti podlogu za rast i razvoj mikroorganizama te smanjiti efikasnost dezinfekcije. Preduvjet efikasne dezinfekcije je niska mutnoća

vode. Voda mutnoće iznad 4 NTU zdravstveno je neispravna prema Pravilniku koji propisuje kriterije ocjenjivanja zdravstvene ispravnosti vode za piće (NN 125/17, 39/20), iako ova voda ne mora nužno predstavljati neposredan rizik za zdravlje ljudi.

6.3. Utjecaj klimatskih promjena na sektor poljoprivrede

Poljoprivreda je sektor koji će pretrpjeti najveće štete od posljedica klimatskih promjena. Prema izvješćima Međuvladinog panela o klimatskim promjenama Ujedinjenih naroda (eng. The Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) za 2018. i 2019. godinu površinske temperature u Europi porasle su za gotovo 2 °C od druge polovice devetnaestog stoljeća, što je oko 0,9 °C više nego u ostatku zemaljske kugle. Procjenjuje se da će postojati jasna geografska podjela sjever-jug. Zemlje unutar južne Europe biti će više pogođene globalnim zagrijavanjem od zemalja sjeverne Europe. U južnoj Europi očekuje se pad prinosa poljoprivrednih površina kao posljedica povećanja temperature i smanjenja oborina koje utječu na dostupnost vode u tlu. Predviđa se i povećanje rizika od riječnih poplava u mnogim regijama Europe s porastom razine mora u obalnim područjima. Porast temperature i suše utječe i na opasnost od šumskih požara.

Vezano za stočarstvo, klimatske promjene i povećanje sušnih razdoblja vjerojatno će utjecati na smanjenje proizvodnje mlijeka, kvalitetu proizvoda i smrtnost životinja, njihovo reproduktivno zdravlje i porast osjetljivosti na bolesti. Također, utječu na razvoj pčelarstva, proizvodnju meda i ostalih vezanih proizvoda.

Očekuje se da će se zbog klimatskih promjena do 2050. godine prinos trenutačnih poljoprivrednih kultura u Republici Hrvatskoj smanjiti za 3 – 8 %. Sve dulja i češća sušna razdoblja, olujni vjetar, poplave, tuča, požari, kao i sve veća ugroženost poljoprivrednih kultura od toplinskog stresa tijekom posljednjih desetljeća, posebice u Dalmaciji, jasan su signal, prije svega voćarima, maslinarima i vinogradarima, da počnu s provedbom mjera prilagodbe klimatskim promjenama. Suša u ljetnim mjesecima bila je u razdoblju od 1980. – 2014. godine najveći pojedinačni uzrok šteta koje hrvatskoj poljoprivredi nanosi klimatska varijabilnost, dok je u razdoblju od 2013. – 2016. godine prouzrokovala štetu od ukupno 3 milijarde kuna, što je 43 % izravnih potpora isplaćenih za poljoprivredu u istom razdoblju.

Bez pojačanih ulaganja neće se moći postići zadovoljavajući postotak površina pod navodnjavanjem i proizvodnje u zatvorenom, kao ni značajnije podići razinu organske tvari u tlu što će, u odnosu na postojeće stanje, rezultirati smanjenjem poljoprivredne proizvodnje.

Uočeno je da klimatske promjene već utječu na fenološke faze voćnih i povrtnih kultura (npr. jabuka, vinove loze, masline i kukuruza), a poglavito u pojedinim regijama Hrvatske (Slavonija i Dalmacija), tako da vegetacijsko razdoblje počinje ranije, traje kraće, ali u konačnici dolazi do pada prinosa. Manjak vode u tlu (suša) i povišene temperature zraka u nadolazećem vremenskom razdoblju bit će dva ključna problema u borbi poljoprivrede s klimatskim promjenama. No, u sektoru poljoprivrede klimatske promjene imat će i neke pozitivne učinke poput omogućavanja uzgoja novih kultura i sorti u područjima u kojima to do sada nije bilo moguće.

Povećanje stupnja ranjivosti morskog okoliša uvjetovano klimatskim promjenama može značajno utjecati na niz abiotičkih i biotičkih procesa i promjena, posebno vezanih uz miješanje vodenog stupca i promjene koncentracije kisika u dubljim slojevima, povećanje kiselosti mora, kao i niz s time vezanih bioloških procesa i utjecaja na bioraznolikost morskog okoliša i ribarstvo (npr. smanjenje produktivnosti, promjena dinamike hranidbenih mreža, smanjenje populacija vrsta koje tvore morska biogena staništa, promjena u distribuciji vrsta, veći rizik od pojava bolesti itd.).

Tablica 6.3-1. Prikaz utjecaja i izazova prilagodbe klimatskim promjenama u sektoru poljoprivrede (NN 46/20)

| UTJECAJI I IZAZOVI KOJI UZROKUJU VISOKU RANJIVOST | MOGUĆI ODGOVORI S CILJEM SMANJENJA VISOKE RANJIVOSTI |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - promjena trajanja/duljine vegetacijskog razdoblja poljoprivrednih kultura i niži prinosi; - veća potreba za vodom za navodnjavanje zbog učestalih suša; - duži vegetacijski period omogućit će uzgoj nekih novih sorti i hibrida; - učestalije poplave i stagnacija površinske vode – koje će smanjiti ili posve uništiti prinose; - smanjenje prirasta, kvalitete animalnih proizvoda i poremećaji u reprodukciji, pojava novih bolesti. | <ul style="list-style-type: none"> - jačanje kapaciteta za razumijevanje i primjenu mjera prilagodbe klimatskim promjenama; - povećanje prihvatnog kapaciteta tla za vodu na poljoprivrednom zemljištu; - konzervacijska obrada tla i ostali načini reducirane obrade tla; - izbor pasmina životinja koje su otpornije na klimatske promjene; - uzgoj sorti, hibrida i pasmina otpornijih na klimatske promjene; - navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta; - gradnja vodnih akumulacija; - primjena bioinženjerskih antierozivnih mjera; - obnova i/ili izgradnja drenažnih sustava; - razvoj sustava za upozorenje na sušu. |

Prema rezultatima klimatskog modeliranja koje je izrađeno u okviru projekta Ministarstva zaštite okoliša i energetike, očekivane promjene klimatskih parametara važnih za poljoprivrednu proizvodnju, moguće je sažeti kako slijedi (MZOE, 2017):

- 1) Temperatura: do 2040. godine očekuje se u svim sezonama porast prizemne temperature između 1,1 i 1,2 °C, a u razdoblju do 2070. godine najveći porast srednje temperature zraka do 2,2 °C.
- 2) Maksimalna temperatura zraka (T_{max}): do 2040. godine predviđen je porast maksimalne temperature između 1 i 1,5 °C, a pretpostavlja se da će se ovaj trend nastaviti i u razdoblju do 2070. godine, s rasponom od 1,4 do 2,3 °C.
- 3) Minimalna temperatura zraka (T_{min}): najveći projiciran porast minimalne temperature do 2040. godine u zimskim mjesecima je između 1,2 °C u sjevernoj Hrvatskoj i primorju, do 1,4 °C. U razdoblju 2041. - 2070. ponovno se najveći porast minimalne temperature očekuje u zimi – od 2,1 do 2,4 °C u kontinentalnom dijelu, te od 1,8 do 2 °C u primorskim krajevima.
- 4) Oborine: do 2040. godine projicirana promjena ukupne količine oborine ima različit predznak: dok se u zimi i za veći dio Republike Hrvatske u proljeće očekuje manji porast količine oborine, u ljeto i u jesen prevladavat će smanjenje količine oborine u čitavoj zemlji. U razdoblju do 2070. godine očekuje se u svim sezonama, osim u zimi smanjenje količine oborine.
- 5) Evapotranspiracija: u budućoj klimi do 2040. godine projicirano je povećanje evapotranspiracije u proljeće i u ljeto i do oko 10 mm. No, u većem dijelu sjeverne Hrvatske ne očekuje se promjena ukupne ljetne evapotranspiracije. Porast evapotranspiracije nastavlja se u proljeće i u razdoblju 2041. - 2070. godine, ali neće prelaziti 20 mm, dok se u ljetnim mjesecima ne očekuje promjena evapotranspiracije u odnosu na referentnu klimu, u razdoblju 1971. - 2000. godine, osim na Jadranu.
- 6) Vlažnost tla: očekuje se da će se u razdoblju do 2040. godine vlažnost tla smanjiti u sjevernoj Hrvatskoj, a sredinom 21. stoljeća u čitavoj Republici Hrvatskoj (u središnjem dijelu sjeverne Hrvatske i za više od 50 mm). Najveće smanjenje vlažnosti tla očekuje se u ljetnim i jesenskim mjesecima.
- 7) Prihvatni kapacitet tla za vodu: korištena 50 km rezolucija je pregruba za detaljniju specifikaciju tipova korištenih tala pa modeliranjem nije bilo moguće doći do kvalitetnih podataka o prihvatnom kapacitetu tla za vodu. S obzirom na veliku raznolikost tipova poljoprivrednih tala i njihovu neravnomjernu distribuciju, za pretpostaviti je da niti rezolucija od 12,5 km ne bi dala bitno pouzdaniji podatak o prihvatnom kapacitetu tla za vodu.

- 8) Dubina korijena: za poljoprivredna područja pokazuje dubinu od 1 m.

Stoga su glavni očekivani utjecaji klimatskih promjena koji uzrokuju visoku ranjivost u sektoru poljoprivrede:

- promjena vegetacijskog razdoblja ratarskih kultura s naglaskom na žitarice i uljarice (npr. kukuruz, šećerna repa, soja itd.),
- niži prinosi pojedinih kultura i veća potreba za vodom,
- duži vegetacijski period omogućit će uzgoj nekih novih sorti i hibrida, dok će učestalije poplave i stagnacija površinske vode smanjiti ili posve uništiti prinose.

6.4. Utjecaj klimatskih promjena na sektor turizma

Globalno, klima je jedan od važnih čimbenika razvoja turizma sa snažnim djelovanjem na turistička kretanja. Klima utječe na dužinu turističke sezone, kvalitetu turističke ponude a time i na samu turističku potražnju. Turisti daju visoke ocjene destinacijama s povoljnim klimatskim uvjetima (Hitrec, 1993).

Poglavito su osjetljiva obalna područja. Poseban problem je dizanje razine mora što uzrokuje eroziju. Ova je pojava manje izražena na sjevernim obalama Europske unije (IPCC, 2022).

Promijene razine mora mogu utjecati na razvoj turizma zbog rasta zabrinutost pri izboru turističkih destinacija. Također, promjene djeluju i na lokalno stanovništvo u ugroženim područjima koje migrira i time utječe na ekonomski razvoj obalnih područja. Dodatno, gubitak obalnih područja utječe na gubitke u bio raznolikosti, pa se pripremaju posebni planovi upravljanja kojima se predviđa izgradnja infrastrukture u tom području i njegov budući razvoj. Suvremene tehnologije poput Geografskog informacijskog sustava (GIS) i analize satelitskih snimki korisni su alati u razumijevanju ovih promjena.

Povoljni klimatski uvjeti koje turisti traže su (Ceron & Dubois, 2004):

- sigurnost od klimatskih nesreća i prirodnih katastrofa;
- komfor (ugodnost), tj. što duže i pravilnije sunčano razdoblje, što manje prisustvo kiše te nepostojanje straha za ljudsko zdravlje;
- minimizacija glavnih zdravstvenih rizika povezanih s klimom poput kožnih oboljenja, srčanih bolesti, bolesti respiratornog sustava te ostalih zaraznih bolesti.

Klimatske promjene vjerojatno neće utjecati na količinu potrošenoga novca u turizmu, ali će se mijenjati mjesto gdje će se on trošiti. Zbog klime i klimatskih promjena neke od najljepših turističkih destinacija mogle bi u skoroj budućnosti izgubiti svoju atraktivnost, dok bi se neke druge s ugodnijom klimom mogle uspješno pozicionirati na svjetskom turističkom tržištu.

Klimatske promjene utječu i na **turističku ponudu** i poslovanje turističkog sektora. Primjerice, rastu sezonski operativni energetske troškovi, posebice troškovi grijanja i hlađenja, troškovi vodoopskrbe i osiguranja protiv elementarnih nepogoda – oluja, vjetrova i oborina ili suša, a rastu i oštećenja turističke infrastrukture.

Danas je turizam uglavnom lokaliziran u određenim područjima, u gradovima ili naseljima na obali i planinama. Često su to područja s manjom naseljenošću koja uvelike ovise o turizmu (Wall, 2006), jednostavne ekonomske strukture i izrazite sezonalnosti u pružanju usluga.

Na području Europe, pa tako i u Republici Hrvatskoj, turizam ima obilježje visoke sezonalnosti. Visoka sezona bilježi se u ljetnim mjesecima (lipanj-rujan), a niska sezona u ostalim dijelovima godine, osim razdoblja oko Božića i nove godine.

U Hrvatskoj je glavni oblik turizma ljetni kupališni turizam na koji uvelike utječu klimatske pogodnosti. Taj je oblik turizma najviše zastupljen u priobalnom području u ljetnim mjesecima u kojima se, zahvaljujući povoljnim

klimatološkim elementima, ostvaruje i veći broj turističkih dolazaka. Turističke aktivnosti uglavnom se odvijaju na otvorenom pa na njih djeluju parametri poput temperature, vlažnosti zraka, vjetrova, oborina i broja sunčanih dana.

Pokazatelj kojim se prati utjecaj klimatskih promjena na turizam je Klimatski turistički indeks (Tourism climate indeks, TCI) koji izračunava kvalitetu turističkog doživljaja, a povezan je s klimatskim elementima.

Glavne promjene klimatskih parametara koji će djelovati na turistička kretanja odnose se na povećanje temperature, povećanje sunčevog zračenja i smanjenje količina oborina. Promjene u klimatskim parametrima dovest će do različitih implikacija na pojedine turističke destinacije. Zbog klimatskih promjena sjeverna područja Europe mogla bi postati atraktivnija za odmor tijekom ljetnih mjeseci, a **Mediterran i Republika Hrvatska** mogli bi ostati privlačni (samo) u ostalom dijelu godine. Uz ove glavne parametre, klimatske promjene će djelovati i na niz drugih segmenata značajnih za lokalne zajednice. Primjerice, povećanje temperature zraka uzrokovat će povećanje temperature mora kao i podizanje njegove razine u zemljama Mediterana koje su glavni konkurenti hrvatskom turizmu. Prema dostupnim klimatskim modelima temperatura će na tom području rasti do 4 °C, a razina mora do 1 m do 2100. godine (WTO & UNEP, 2008). Posljedice klimatskih promjena, poglavito porasta temperature i razine mora na Mediteranu su ugroze od poplavljenosti za naselja i područja s niskom nadmorskom visinom te zaslanjivanje rijeka i obalnih vodonosnika (Karas, 2006). Time rastu i problemi dostupnosti vode i hrane, bioraznolikosti, zdravlja turista i domaćeg stanovništva i sl. Vremenski uvjeti utječu na aktivnosti turista na otvorenom (primjerice rekreacija) i neizravno na potrošnju turista.

Klimatske promjene **utječu na hrvatsku turističku industriju** i očekuje se da će biti sve značajnije, posebice u obalnom području. S obzirom na predviđeno povišenje temperature i produženo trajanje ljetnih vrućina, očekuju se neugodno vruća ljeta (posebno srpanj i kolovoz) duž Jadranske obale što može utjecati na smanjenje broja posjetitelja. Također, očekuje se produljenje turističke sezone na proljeće i jesen te porast broja turista na hrvatskoj obali (CCKP, 2020). Povećanje temperatura površinskih voda na Jadranu može ukazivati na povećan intenzitet olujnih nevremena, jakih vjetrova i pijavica i posljedično povećanu mogućnost iznenadnih poplava obalnog područja, ali i u unutrašnjosti. Nadalje, još jedna posljedica ekstremnih vremenskih prilika mogla bi biti povećana učestalost šumskih požara zbog vrućih, suših ljeta. Dodatan utjecaj imat će i na zdravlje turista (uslijed toplinskog vala ili zaraznih bolesti).

Porast temperature mora uzrokuje promjene u obalnim i kopnenim ekosustavima poput promjene biljnih i životinjskih vrsta i razine algi. Zbog povećanog cvjetanja algi u moru turisti izbjegavaju takva područja za odmor.

Gubitak bioraznolikosti osjetljivih krških ekosustava utjecat će na eko-turističke atrakcije i smanjenje vizualne privlačnosti tih područja. Primjerice, promjene u stanju okoliša Plitvičkih jezera i oko njih utječu na formiranje sedrenih barijera u jezerima.

Turistička infrastruktura, poput plaža, marina, sustava odvodnje otpadnih voda i sl., također može biti ugrožena zbog porasta razine mora, obalnih poplava i erozije tla. Salinizacija i pomanjkanje oborina u obalnom području uzrokovat će poteškoće s opskrbom vodom, posebice u ljetnim mjesecima, što se već sada dešava posebice na otocima, gdje se voda tijekom turističke sezone crpkama dovodi s kopna.

U razdoblju do 2100. godine Hrvatska pokazuje ranjivost na porast razine mora. Neka od područja koja su posebno izložena su Delta Neretve, Krka ili Vransko jezero pored Biograda, ali i turistička središta poput Zadra, Trogira, Splita, Dubrovnika, Šibenika i Poreča te područja otoka Cresa, Malog i Velog Lošinja, Krka, Raba, Krapnja i Vele Luke. Otoci kao što su Krapanj, Tribunj i drugi niski otoci mogli bi se u potpunosti naći pod vodom (UNEP, 2015). Ukoliko razina mora poraste za 55 cm ukupna površina prekrivenog kopna iznosila bi preko 100 kvadratnih kilometara, a uz porast razine mora od 88 cm ukupna pokrivena površina bila bi preko 112 kvadratnih kilometara obale. Vrijednost poplavljenog zemljišta procjenjuje se okvirno na oko 2,8 do 6,5 milijardi eura, odnosno 3,2 do 7,2 milijardi eura (UNDP, 2008).

Zbog klimatskih promjena turistički sektor će biti primoran obogaćivati (diversificirati) turističku ponudu i nuditi proizvode više kvalitete u dužem roku što može pozitivno djelovati na konkurentnost.

Negativni utjecaj turizma na porast klimatskih promjena očituje se kroz potrošnju i korištenje prostora. Turistički objekti, turistička infrastruktura i brojni turisti djeluju na kvalitetu okoliša te degradiraju prirodni krajolik, onečišćuju vodu, gomilaju otpad i troše velike količine energije. Također, turizam doprinosi porastu emisije stakleničkih plinova s obzirom na transport, način putovanja i udaljenost destinacija. Procjenjuje se da je globalno oko 5 % ukupnih emisija CO₂ vezano za turizam (UNWTO, 2016). U Europi je udio emisija CO₂ iz turističke djelatnosti oko 3,1 % i to poglavito jer je dominantno prijevozno sredstvo automobil, a ne avion koji je najveći onečišćivač (Šverko Grdić, 2012).

Zaključno, u Republici Hrvatskoj u obalnom dijelu u ljetnim se mjesecima očekuje stagnacija ili smanjenje turističke potražnje, a intenzivnije turističke aktivnosti u predsezoni i posezoni odnosno u unutrašnjosti, u planinskim područjima zemlje. Da bi se održao u uvjetima klimatskih promjena, hrvatski turizam trebao bi značajno povećati raznolikost, poboljšati kvalitetu ponude i iskoristiti nove trendove u ponašanju suvremenih turista poput većeg zanimanja za bližu i sigurniju destinaciju, povećanje kraćih i češćih putovanja te eko, kreativni i kulturni turizam, turizam doživljaja te za sve one selektivne oblike turizma koji uključuju manji broj turista kako bi se smanjio utjecaj turizma na samu klimu i eko-sustave. To podrazumijeva i smanjivanje sezonalnosti turizma. Mogući odgovori na utjecaje i izazove prilagodbe turizma na klimatske promjene predstavljani su u tablici 6.4-1.

Tablica 6.4-1. Prikaz utjecaja i izazova prilagodbe klimatskim promjenama u sektoru turizma (NN 46/20)

| Utjecaji i izazovi koji uzrokuju visoku ranjivost | Mogući odgovori u svrhu smanjenja visoke ranjivosti |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - neprilagođenost turističke ponude projiciranim klimatskim promjenama (visoke temperature, pojačano sunčevo zračenje, učestalost ekstremnih vremenskih događaja i dr.); - promjena atraktivnosti područja na obalnom dijelu i u unutrašnjosti Republike Hrvatske; - nastanak šteta i/ili smanjena funkcionalnost različitih infrastrukturnih sustava (vodovod, odvodnja, infrastruktura plaža, hortikultura i dr.); - pogoršanje stanja ekosustava, bioraznolikosti i kulturne baštine važnih turizmu zbog neizravnih i izravnih učinaka klimatskih promjena. | <ul style="list-style-type: none"> - prilagodba turističkog sektora na izmijenjene uvjete poslovanja zbog utjecaja klimatskih promjena; - usklađivanje turističkih aktivnosti s prognoziranim klimatskim promjenama; - jačanje kompetencije, vezano za utjecaje i prilagodbu klimatskim promjenama, stručnjaka izravno vezanih za turistički sektor; - uključivanje mjera prilagodbe klimatskim promjenama u sve segmente održivog hrvatskog turizma; - revitalizacija turističke ponude na cijelom teritoriju Republike Hrvatske te iskorištavanje do sada nedovoljno ili nikako iskorištenih potencijala; - provedba prioritetnih programa sanacije kulturnih dobara uključivanjem prihvatljivih mjera smanjenja ranjivosti na klimatske promjene. |

6.5. Analiza korištenja zemljišta

U vremenima klimatskih promjena utjecaj mora na priobalne krške vodonosnike izraženiji je no ikad. Zbog promjena u količinama i vremenskom rasporedu oborina, vrlo je važno voditi računa o raspoloživim zalihama pitke vode. Kako krške priobalne vodonosnike karakterizira labilna ravnoteža pitke i slane morske vode, koje su u neprekidnom kontaktu, u svrhu održivog upravljanja, od iznimne je važnosti poznavanje kretanja razina podzemne, posebice tokom ljetnih mjeseci kad je prihranjivanje oborinama vrlo ograničeno. Kroz godine, na promatranom području došlo je do prirodnih promjena u površinskom pokrovu, ali i antropogenom načinu korištenja zemljišta. Te su promjene utjecale i na odnos otjecanja te infiltracije. Stoga je cilj ove analize kvantitativna analiza vrsta određenog površinskog pokrova u zadnjih 20-tak godina, ali i ocjena promjena, odnosno usporedba stanja početku i kraju promatranog razdoblja.

6.5.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik

CORINE Land Cover (dalje CLC) projekt pokrenut je 1985., dok se kao referentna godina koristi 1990. Ažuriranja su izrađena u 2000., 2006., 2012. i 2018. Zemljišni pokrov dijeli se 44 klase. CLC koristi minimalnu jedinicu za kartiranje (eng. Minimum Mapping Unit - MMU) od 25 hektara (ha) za površinske fenomene i minimalnu širinu od 100 m za linearne pojave. Za provedbu analize korišteni su podaci iz Corine Land Cover rastera površinskog pokrova za 2000. i 2018. godinu.

Mreža Eionet National Reference Centers Land Cover (NRC/LC) proizvodi nacionalne baze podataka CLC-a, koje koordinira i integrira Europska agencija za okoliš (EEA). CLC proizvodi većina zemalja kreirani su vizualnom interpretacijom satelitskih snimaka visoke rezolucije. U nekoliko zemalja primjenjuju se poluautomatska rješenja, koristeći nacionalne in-situ podatke, obradu satelitskih snimaka, GIS integraciju i generalizaciju.

U svrhu provedbe analize napisana je Python 3 skripta, bazirana na Python 3.9.12 inačici. Kao ulazni podaci skripte koriste se CORINE Land Cover rasteri površinskog pokrova za traženo vremensko razdoblje te ESRI shapefile granica traženog sliva. Kroz ovu analizu korišteni su podaci o površinskom pokrovu za 2000. i 2018. godinu. Skripta se temelji na nekoliko ključnih funkcija kojima je zadatak priprema CORINE Land Cover rastera (rezanje, eng. clipping), sumiranje područja pod istim površinskim pokrovom na traženom području te izračun postotka površine pod određenim pokrovom. Nadalje, recentnije godine se uspoređuju s prvom prethodnom, te se bilježi promjena površinskog pokrova u danom periodu. Promjena se zatim prikazuje u obliku stupčastog dijagrama (eng. Bar chart). S ciljem boljeg pregleda skripta nudi mogućnost prikaza postotaka određenog pov. pokrova za svaku godinu u obliku torta-dijagrama (eng. Pie chart). Cjelokupna skripta javno je dostupna na GitHub-u putem slijedeće poveznice: https://github.com/karlek10/corine_LC. Funkcije prikaza na jednostavan način promjenom jedne varijable nude mogućnost promjene jezika prikaza između hrvatskog i engleskog. Ovakav pristup analizi omogućuje primjenu metodologije na druga pilot područja, s minimalnim izmjena, tj. promjena nekoliko varijabli.

Kroz analizu vidljivo je da su 2000. godine većinu površinskog pokrova sliva Bokanjac – Poličnik činili uglavnom zemljišta u zarastanju, poljoprivredne površine (mozaik), pašnjaci, nepovezana gradska područja te pretežno poljoprivredna zemljišta sa značajnim udjelom prirodne vegetacije. Antropogenim te prirodnim promjenama 2018. godine najzastupljenije klase su poljoprivredne površine (mozaik), zemljišta u zarastanju, pašnjaci, nepovezana gradska područja te pretežno poljoprivredna zemljišta sa značajnim udjelom prirodne vegetacije. Detaljniji prikaz najzastupljenijih klasa prikazana je na [Slici 6.5-1](#) te u [Tablici 6.5-1](#).

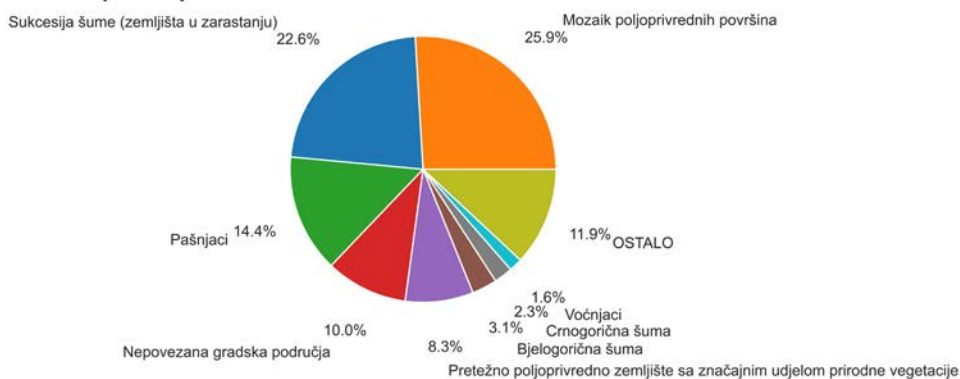
Tablica 6.5-1. Prikaz deset najzastupljenijih vrsta površinskih pokrova prema Corine LC podacima

| 2000 | | 2018 | |
|--------------|--|--------------|--|
| Postotak (%) | Vrsta površinskog pokrova | Postotak (%) | Vrsta površinskog pokrova |
| 31,36 | Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju) | 25,95 | Mozaik poljoprivrednih površina |
| 25,21 | Mozaik poljoprivrednih površina | 22,57 | Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju) |
| 11,12 | Pašnjaci | 14,35 | Pašnjaci |
| 9,45 | Nepovezana gradska područja | 9,97 | Nepovezana gradska područja |
| 7,97 | Pretežno poljoprivredno zemljište sa značajnim udjelom prirodne vegetacije | 8,28 | Pretežno poljoprivredno zemljište sa značajnim udjelom prirodne vegetacije |
| 3,59 | Bjelogorična šuma | 3,05 | Bjelogorična šuma |
| 2,36 | Vinogradi | 2,26 | Crnogorična šuma |
| 1,83 | Crnogorična šuma | 1,62 | Voćnjaci |
| 1,52 | Mediteranska sklerofilna vegetacija | 1,45 | Vinogradi |
| 1,22 | Trajno navodnjavano zemljište | 1,31 | Maslinici |

CORINE - Vrsta pov. pokrova - 2000

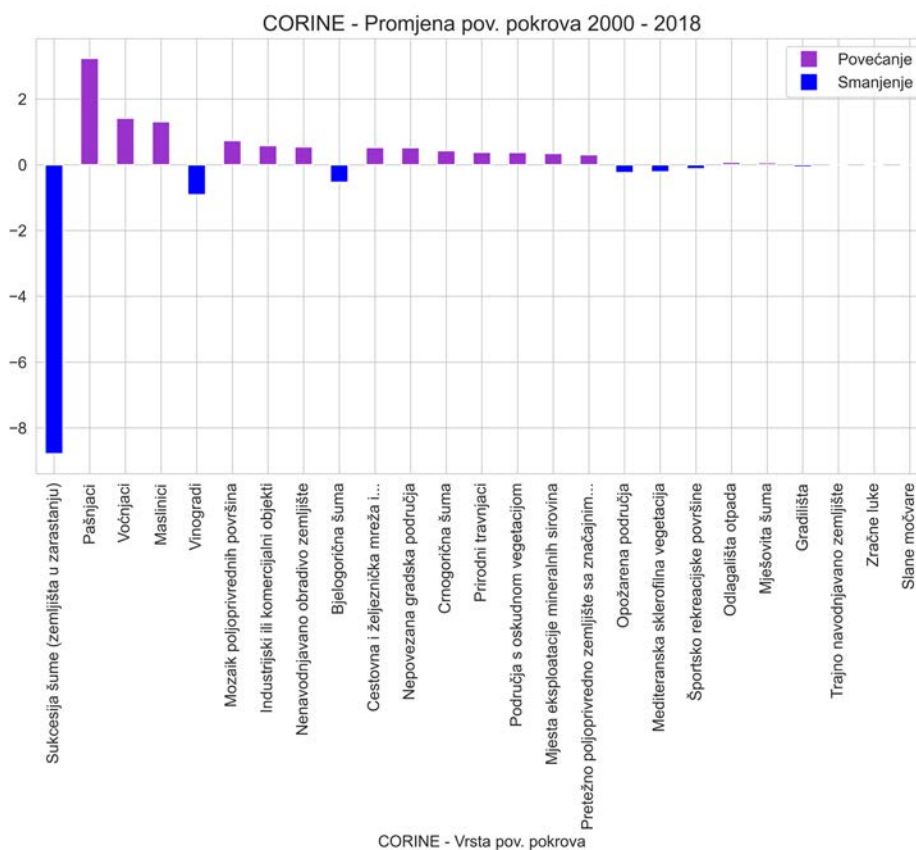


CORINE - Vrsta pov. pokrova - 2018



Slika 6.5-1. Usporedba pokrivenosti terena prema CORINE Land Cover podacima – 2000. i 2018. godine

Promotre li se podaci o površinskom pokrovu kroz promatrani period od 18 godine, uočava se značajan pad zaraslih, neobrađenih površina, sa gotovo trećine sliva (31,35 %) na nešto manje od četvrtine (22,6 %). Dio neobrađenih površina iskorišten je u poljoprivredne svrhe, gdje se bilježi blagi porast od 0,7 %. Značajniji dio od 3,3 % pretvoren je u pašnjake. Znatno blaži porast, od 0,5 % bilježi se kod nepovezanih gradskih područja te 0,3 % poljoprivrednih površina sa prirodnom vegetacijom. Blagi pad bilježi se kod površina pod bjelogoričnom šumom (0,5 %) dok nešto zamjetniji pad površina pod vinogradima, gotovo 1%. Crnogorična šuma, voćnjaci te maslinici bilježe blagi porast površine.



Slika 6.5-2. Promjene određenih klasa površinskog pokrova u razdoblju 2000. do 2018. godine

Tablica 6.5-2. Razlika u promjenama vrste površinskog pokrova u razdoblju 2000. do 2018. godine

| Promjena (%) | Vrsta površinskog pokrova |
|--------------|--|
| -8.79 | Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju) |
| 3.23 | Pašnjaci |
| 1.41 | Voćnjaci |
| 1.31 | Maslinici |
| -0.91 | Vinogradi |
| 0.73 | Mozaik poljoprivrednih površina |
| 0.58 | Industrijski ili komercijalni objekti |
| 0.54 | Nenavodnjavano obradivo zemljište |
| -0.53 | Bjelogorična šuma |
| 0.52 | Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište |

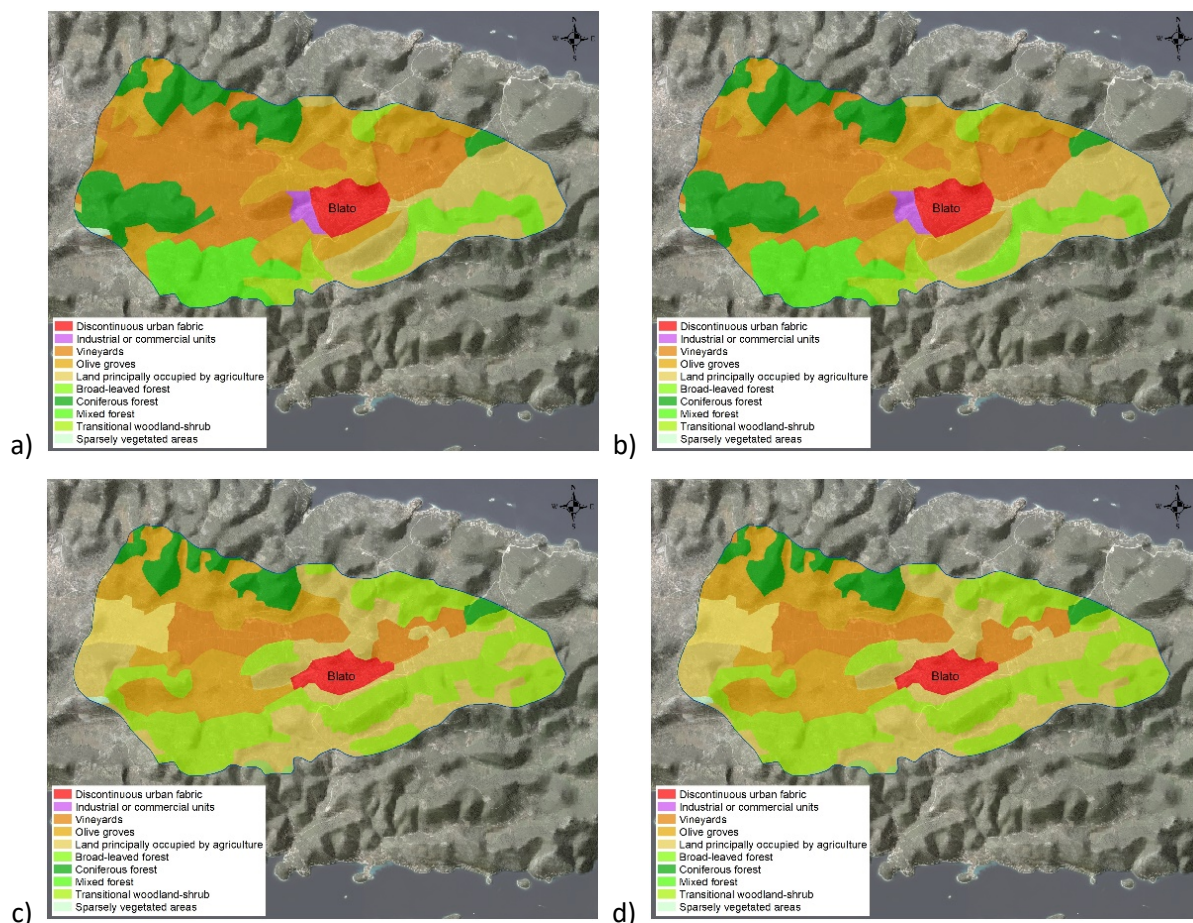
Iz provedene analize uočava se značajan dio površina na početku promatranog perioda bio prekriven zemljištem u zarastanju, što se svakako može smatrati posljedicom Domovinskog rata i nedostatka kontinuiteta poljoprivredne proizvodnje na tom prostoru. Gospodarskim razvojem nakon 2000. godine pa do danas uočava se

napredak u poljoprivrednoj proizvodnji, posljedica čega je značajno smanjenje površina u zarastanju, preko 8 %. Većina tog terena pretvorena je u voćnjake, pašnjake, maslinike i poljoprivredne površine, što je vidljivo i obilaskom terena. Također, bilježi se i rast poljoprivredne proizvodnje na promatranom području, ali uz promjenu poljoprivrednih kultura.

6.5.2. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli

Prostorne analize izrađene su u GIS-u korištenjem digitalne baze podataka Corine Land Cover (CLC) koja obuhvaća kartiranje pokrova i namjene zemljišta u redovnim 6-godišnjim intervalima od 1980. godine (<http://corine.haop.hr/>). Nomenklatura CLC obuhvaća 44 klase raspoređene u 3 razine, od kojih svaka opisuje različit pokrov zemljišta.

U sklopu prostornih analiza vezanih uz hidrografski sljev Blatskog polja uspoređeni su podaci iz karata pokrova i namjene zemljišta izrađenih 2000., 2006., 2012. i 2018. godine (Slika 6.5-3). Na istraživanom području nisu zabilježene promjene između godina 2000. i 2006., te 2012. i 2018. Stoga ćemo u daljim razmatranjima prikazivati podatke za dva razdoblja, godine 2006. i 2018. Analizirani su podaci za prvu, drugu i treću razinu klasifikacije pokrova i namjene zemljišta, pri čemu je treća razina najdetaljnija. Ukupna analizirana površina hidrološkog sljeva Blatskog polja iznosi 28,39 km².



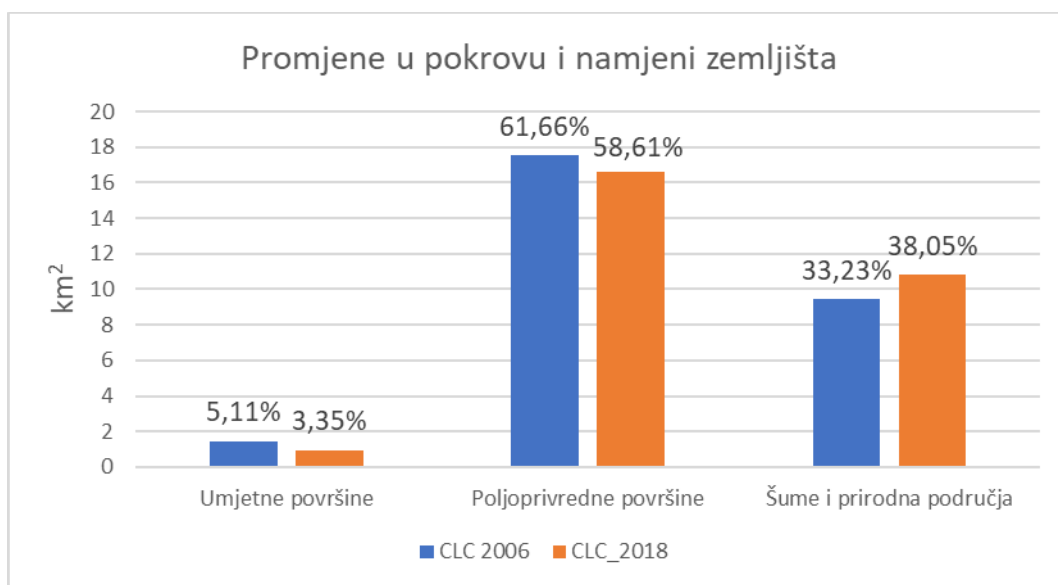
Slika 6.5-3. Karte pokrova i namjene zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover. a) Karta pokrova i namjene zemljišta izrađena 2000. godine; b) Karta pokrova i namjene zemljišta izrađena 2006. godine; c) Karta pokrova i namjene zemljišta izrađena 2012. godine; d) Karta pokrova i namjene zemljišta izrađena 2018. godine.

Prema prvoj razini klasifikacije pokrova i namjeni zemljišta CLC-a, istraživano područje prekrivaju tri klase: Umjetne površine, Poljoprivredne površine i šume i prirodna područja (Tablica 6.5-3). Najveći dio sljeva Blatskog polja prekriva klasa Poljoprivredne površine, a najmanju površinu prekriva klasa Umjetne površine. Izračunate

razlike u pokrovu i namjeni zemljišta u razdoblju od 2006. do 2018. godine (Tablica 6.5-3, Slika 6.5-4) ukazuju na smanjenje umjetnih i poljoprivrednih površina i povećanje šuma i prirodnih područja.

Tablica 6.5-3. Izračunate površine i prikazane promjene u pokrovu i namjeni zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover za godine 2006. i 2018. za prvu razinu klasifikacije

| Klasa | Kod | CLC_2006 (km ²) | CLC_2018 (km ²) | razlika 2006/2012 (%) |
|--------------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Umjetne površine | 1 | 1,45 | 0,95 | 20,88 |
| Poljoprivredne površine | 2 | 17,50 | 16,64 | 2,59 |
| Šume i prirodna područja | 3 | 9,43 | 10,80 | -6,82 |

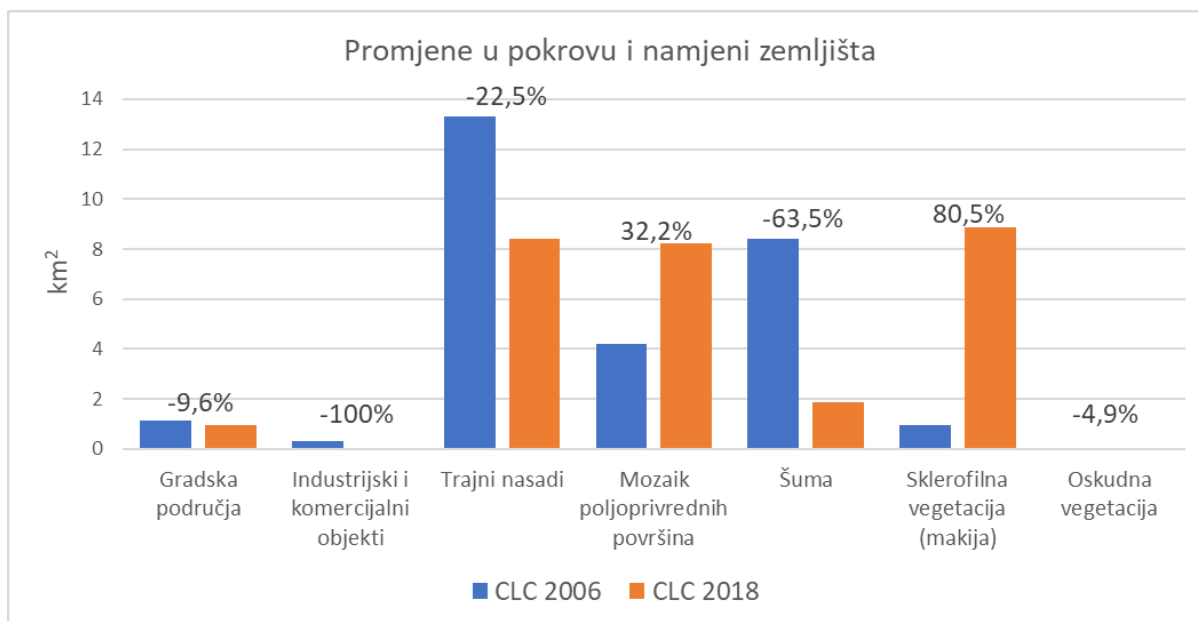


Slika 6.5-4. Promjene u pokrovu i namjeni zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover za godine 2006. i 2018.

Na temelju podataka druge razine klasifikacije pokrova i namjeni zemljišta CLC-a, istraživano područje prekriva sedam klasa: Gradska područja, Industrijski i komercijalni objekti, Trajni nasadi, Mozaik poljoprivrednih površina, Šuma, Sklerofilna vegetacija (makija) i Oskudna vegetacija (Tablica 6.5-4). Najveći dio sljeva Blatskog polja prema rezultatima mjerenja iz 2006. godine prekriva klasa Trajni nasadi, sa značajnim područjem prekrivenim klasama Šuma i Mozaik poljoprivrednih površina (Tablica 6.5-4, Slika 6.5-5). Podaci iz 2018. godine ukazuju na značajne promjene, pri čemu se površine klasa Trajni nasadi i Šuma znatno smanjuju u odnosu na 2006. godinu, dok dolazi do velikog povećanja površina pod makijom. Ovdje su podjednake površine prekrivene klasama Trajni nasadi, Mozaik poljoprivrednih površina i Sklerofilna vegetacija (makija).

Tablica 6.5-4. Izračunate površine i prikazane promjene u pokrovu i namjeni zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover za godine 2006. i 2018. za drugu razinu klasifikacije

| Klasa | Kod | CLC 2000 (km ²) | CLC 2018 (km ²) | razlika 2006/2012 % |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Gradska područja | 11 | 1,15 | 0,95 | 9,59 |
| Industrijski i komercijalni objekti | 12 | 0,30 | 0,00 | 100,00 |
| Trajni nasadi | 22 | 13,32 | 8,42 | 22,50 |
| Mozaik poljoprivrednih površina | 24 | 4,21 | 8,21 | -32,24 |
| Šuma | 31 | 8,41 | 1,88 | 63,50 |
| Sklerofilna vegetacija (makija) | 32 | 0,96 | 8,88 | -80,45 |
| Oskudna vegetacija | 33 | 0,05 | 0,04 | 4,86 |

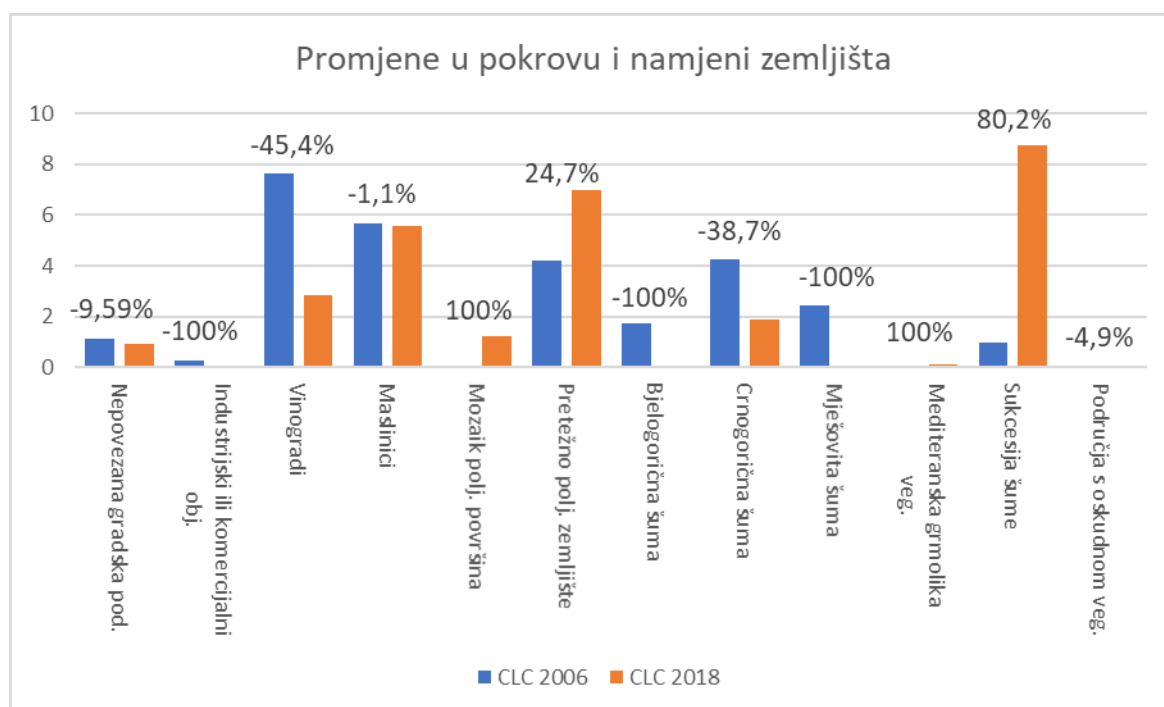


Slika 6.5-5. Promjene u pokrovu i namjeni zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover za drugu razinu podjele i godine 2006. i 2018.

Prema trećoj i najdetaljnijoj razini klasifikacije pokrova i namjene zemljišta CLC-a, istraživano područje prekriva 12 klasa: Nepovezana gradska područja, Industrijski ili komercijalni objekti, Vinogradi, Maslinici, Mozaik poljoprivrednih površina, Pretežno poljoprivredno zemljište, Bjelogorična šuma, Crnogorična šuma, Mješovita šuma, Mediteranska grmolika vegetacija, Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju), Područja s oskudnom vegetacijom (Tablica 6.5-5). Najveći dio sljeva Blatskog polja prema mjerenjima iz 2006. godine prekrivaju klase Vinogradi, Maslinici, Crnogorična šuma i Pretežno poljoprivredno zemljište. Ove četiri klase zajedno prekrivaju preko 76% ukupnog sljeva. Podaci iz 2018. godine pokazuju značajne promjene, pa sljev prekrivaju klase Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju), Pretežno poljoprivredno zemljište i Maslinici. Ove tri klase zajedno prekrivaju preko 74% ukupnog sljeva. Ova najdetaljnija klasifikacija ukazuje na značajno povećanje površina zemljišta koje zarasta u šumu (Slika 6.5-6). Vinogradi se zapuštaju i zarastaju, ili pretvaraju u drugo poljoprivredno zemljište.

Tablica 6.5-5. Izračunate površine i prikazane promjene u pokrovu i namjeni zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover za godine 2006. i 2018. za treću razinu klasifikacije

| Klasa | Kod | CLC 2000 (km²) | CLC 2018 (km²) | razlika 2006/2012 % |
|---------------------------------------|-----|----------------|----------------|---------------------|
| Nepovezana gradska područja | 112 | 1,15 | 0,95 | -9,59 |
| Industrijski ili komercijalni objekti | 121 | 0,30 | 0,00 | -100,00 |
| Vinogradi | 221 | 7,63 | 2,86 | -45,42 |
| Maslinici | 223 | 5,69 | 5,56 | -1,11 |
| Mozaik poljoprivrednih površina | 242 | 0,00 | 1,24 | 100,00 |
| Pretežno poljoprivredno zemljište | 243 | 4,21 | 6,97 | 24,70 |
| Bjelogorična šuma | 311 | 1,72 | 0,00 | -100,00 |
| Crnogorična šuma | 312 | 4,25 | 1,88 | -38,75 |
| Mješovita šuma | 313 | 2,44 | 0,00 | -100,00 |
| Mediteranska grmolika vegetacija | 323 | 0,00 | 0,14 | 100,00 |
| Sukcesija šume | 324 | 0,96 | 8,74 | 80,18 |
| Područja s oskudnom vegetacijom | 333 | 0,05 | 0,04 | -4,86 |



Slika 6.5-6. Promjene u pokrovu i namjeni zemljišta digitalne baze podataka Corine Land Cover za treću razinu podjele i godine 2006. i 2018.

6.5.2.1. Analiza promijene pokrova i namjene zemljišta od 2000. do 2018

Na temelju prostornih analiza karata pokrova i namjene zemljišta CLC-a hidrografskog sljeva Blatskog polja uspoređeni su podaci iz 2000., 2006., 2012. i 2018 godine. Analizom podataka nisu zabilježene promjene između godina 2000. i 2006., te 2012. i 2018.

Analizirani su podaci tri razine klasifikacije pokrova i namjene zemljišta, pri čemu je prva razina najjednostavnija i sadrži tri klase, dok je u trećoj razini u području sljeva obuhvaćeno 12 klasa.

Rezultati analize podataka prve razine klasifikacije pokrova i namjene zemljišta ukazuju na smanjenje umjetnih i poljoprivrednih površina i povećanje šuma i prirodnih područja (Tablica 6.5-3, Slika 6.5-4). Poljoprivredne površine ukupno su se smanjile za 3%, a šume i prirodna područja proširila za nešto manje od 5%. Na temelju podataka druge razine klasifikacije pokrova i namjeni zemljišta CLC-a, podaci ukazuju na značajne promjene, pri čemu se površine klasa Trajni nasadi i Šuma znatno smanjuju u odnosu na 2006.godinu, dok dolazi do velikog povećanja površina pod makijom (Tablica 6.5-4, Slika 6.5-5). Trajni nasadi pritom su manji u 2018. godini za 22,5%, odnosno 4,9 km². Ovdje je najvjerojatnije djelomično došlo do promjene posađenih kultura u Polju, jer je površina klase Mozaik poljoprivrednih površina u 2018. porasla 32,2%, odnosno za 6,5 km². Najveća promjena uočena je u povećanju površina pod makijom, gdje je došlo do povećanja od čak 80,5% u odnosu na 2006. godinu, odnosno povećanje površine za 7,9 km². Istovremeno je uočen pad površina pod šumama za 63,5%. Moguće objašnjenje je sječa šume i potom zarastanje u makiju. Treća i najdetaljnija razina klasifikacije pokrova i namjene zemljišta CLC-a ukazuje na veće promjene pri čemu od 2006. godine do 2018. godine dolazi do značajnog povećanja površina analiziranog zemljišta koje zarasta u šumu. Vinogradi se zapuštaju i zarastaju, ili pretvaraju u drugo poljoprivredno zemljište (Tablica 6.5-5, Slika 6.5-5, Slika 6.5-6). Područja pod vinogradima smanjena su od 2006. do 2018. godine za 4,8 km², dok su se zemljišta u zarastanju proširila za značajnih 7,8 km², odnosno za više od 80% u odnosu na 2006. godinu.

Možemo zaključiti da postoji mjerljiva promjena u pokrovu i namjeni zemljišta od 2006. godine do 2018. godine, koja se očituje dvojako. Generalno dolazi do smanjenja poljoprivrednih i umjetnih površina te povećanja šuma i

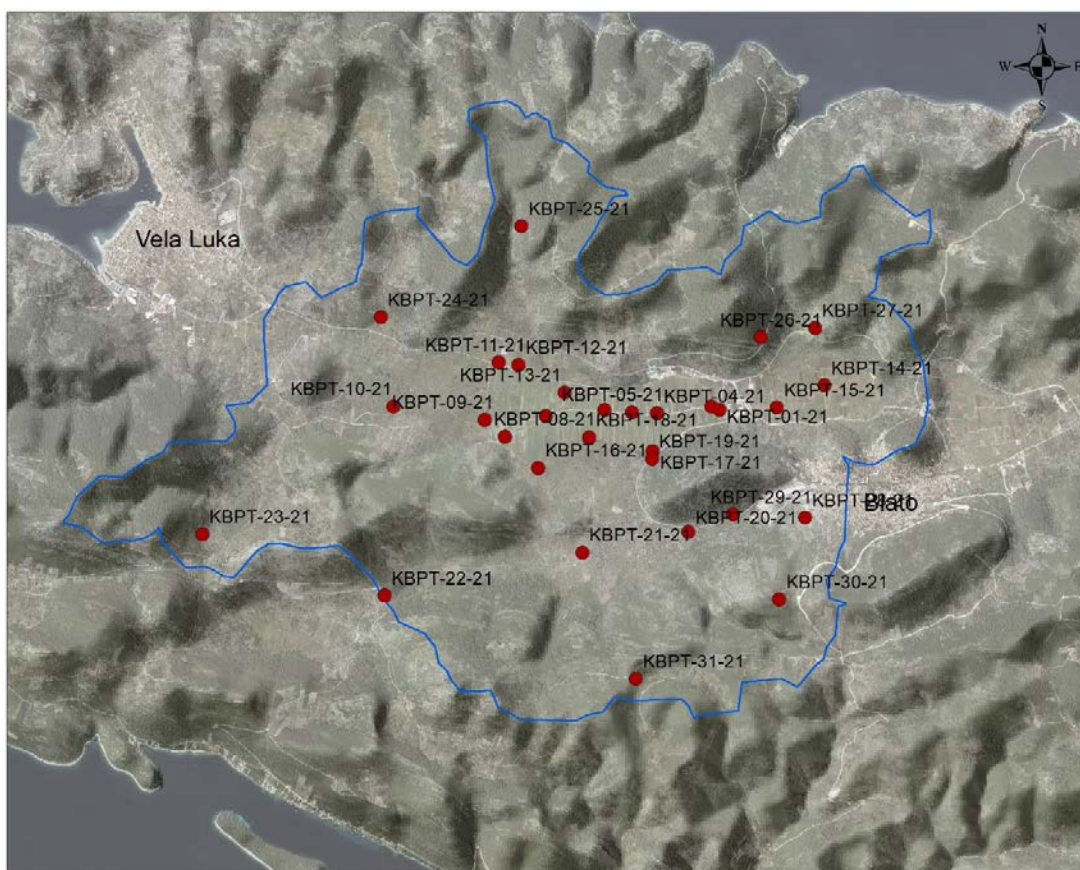
prirodnih područja, ali dolazi i do promjena unutar pojedinih klasa korištenja zemljišta u smislu prenamjene, pri čemu vinogradi zarastaju ili se pretvaraju u drugo poljoprivredno zemljište, dok se šume krče i potom zarastaju u makiju. Područja zasađena maslinama ne pokazuju velike promjene tijekom godina, a značajnijih promjena nema ni kod urbanih i industrijskih područja.

6.6. Procjena stanja postojećeg korištenja zemljišta geokemijskim analizama

Prije 10 godina su u sklopu projekta CC WaterS (Climate Change and Impacts on Water Supply) izrađene prostorne analize promjena pokrova i geokemijske analize tala na području Blatskog polja. Ponovnim analizama pokušali smo utvrditi promjene u okolišu u posljednjoj dekadi.

6.6.1. Točke uzorkovanja

Lokacije uzorkovanja određene su prilikom istraživanja provedenih 2011. godine, i ponovljene 2021. godine. Lokacije uzorkovanja prikazane su na [Slici 6.6-1](#) i [Tablici 6.6-1](#).



Slika 6.6-1. Karta lokacija uzorkovanja sedimenata Blatskog polja 2021. godine

Tablica 6.6-1. Koordinate lokacija uzorkovanja sedimenata Blatskog polja 2011. i 2021. godine

| IME | 2011 | | 2021 | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| | x | y | x | y |
| KBPT-1 | 5645223 | 4757182 | 5645225 | 4757184 |
| KBPT-2 | 5645154 | 4757212 | 5645153 | 4757211 |
| KBPT-3 | 5644884 | 4757175 | 5644884 | 4757175 |
| KBPT-4 | 5644696 | 4757152 | 5644691 | 4757152 |
| KBPT-5 | 5644477 | 4757166 | 5644481 | 4757162 |
| KBPT-6 | 5644248 | 4757185 | 5644246 | 4757183 |
| KBPT-7 | 5643746 | 4757132 | 5643749 | 4757130 |
| KBPT-8 | 5643400 | 4756946 | 5643402 | 4756954 |
| KBPT-9 | 5643233 | 4757098 | 5643230 | 4757097 |
| KBPT-10 | 5642455 | 4757206 | 5642455 | 4757212 |
| KBPT-11 | 5643348 | 4757582 | 5643346 | 4757586 |
| KBPT-12 | 5643517 | 4757563 | 5643518 | 4757564 |
| KBPT-13 | 5643943 | 4757328 | 5643909 | 4757331 |
| KBPT-14 | 5646112 | 4757390 | 5646112 | 4757390 |
| KBPT-15 | 5645726 | 4757203 | 5645710 | 4757203 |
| KBPT-16 | 5643680 | 4756681 | 5643684 | 4756689 |
| KBPT-17 | 5644653 | 4756828 | 5644657 | 4756830 |
| KBPT-18 | 5644117 | 4756943 | 5644115 | 4756947 |
| KBPT-19 | 5644632 | 4756757 | 5644650 | 4756766 |
| KBPT-20 | 5644948 | 4756145 | 5644958 | 4756145 |
| KBPT-21 | 5644070 | 4755966 | 5644058 | 4755971 |
| KBPT-22 | 5642360 | 4755588 | 5642378 | 4755605 |
| KBPT-23 | 5640814 | 4756123 | 5640830 | 4756125 |
| KBPT-24 | 5642348 | 4757969 | 5642347 | 4757970 |
| KBPT-25 | 5643542 | 4758744 | 5643541 | 4758743 |
| KBPT-26 | 5645569 | 4757801 | 5645575 | 4757798 |
| KBPT-27 | 5646034 | 4757880 | 5646035 | 4757878 |
| KBPT-28 | 5646052 | 4756298 | 5645950 | 4756267 |
| KBPT-29 | 5645429 | 4756346 | 5645336 | 4756296 |
| KBPT-30 | 5645744 | 4755578 | 5645731 | 4755572 |
| KBPT-31 | 5644510 | 4754903 | 5644513 | 4754897 |

6.6.2. Terenske metode istraživanja

Uzorci tala prikupljeni su na dubinama 0-20 cm i 30-50 cm na 31 lokaciji prikazanoj na [Slici 6.6-1](#). Profili su kopani lopatom do dubine 50 cm ako je profil tla bio dovoljno dubok ([Slika 6.6-2](#)). Potom je u vrećice izdvojeno oko pola kilograma uzorka iz svakog dostupnog zadanog intervala. Prilikom uzorkovanja uz svaku lokaciju vođen je i standardizirani terenski dnevnik, te je lokacija fotodokumentirana. Koordinate lokacija uzorkovanja određivane su submetarskim DGPS uređajem Thales Global Mapper CE. Na nekim lokacijama zbog male debljine pokrova tla do stijene nije bilo moguće uzorkovati oba intervala. Stoga su na 18 lokacija uzorkovana oba intervala ([Slika 6.6-3a](#)), dok je 13 lokacija uzorkovan samo plići interval od 0 do 20 cm ([Slika 6.6-3b](#)).



Slika 6.6-2. Uzorkovanje tla na lokaciji KBPT-15-21



a)



b)

Slika 6.6-3. a) Profil tla duljine 50 cm na lokaciji KBPT-14-21 b) Profil tla duljine manje od 50 cm zbog stijenske podloge na lokaciji KBPT-24-21.

6.6.3. Laboratorijska istraživanja

U sklopu istraživanja na prikupljenim uzorcima su napravljene kemijske analize, analize ugljika i dušika u tlu i analize frakcionacije stabilnih izotopa ugljika i dušika.

Po povratku s terena uzorci tala su pripremani za analize u pripremnom laboratoriju. Uzorci su sušeni na zraku, potom usitnjavani u ahatnom tarioniku i izdvajani za pojedine analize.

Određivanje ukupnog ugljika i dušika provedeno je simultano, metodom suhog spaljivanja na Thermo Flash 2000 Combustion NC Soil analizatoru i pratećem programu Eager Xperience, prema protokolima HRN ISO 10694 (2004) i HRN ISO 13878 (2004) u Geokemijskom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta u Zagrebu. Rezultati su korigirani na temelju kemijskih analiza na anorganski ugljik. Ovom metodom analizirani su ukupni ugljik (TC), ukupni dušik (TN), ukupni organski ugljik (TOC), ukupni anorganski ugljik (TIC). Priprema uzorka za analizu sastoji se od odvage 30 mg uzorka koji se pakira u kositrenu posudicu. Pripremljeni uzorak se spaljuje u prvom od dva reaktora u atmosferi čistog kisika pri 900 °C. Plin nosilac je helij. U prvom reaktoru sav ugljik oksidira u CO₂, a dušik u dušikove okside i molekule dušika (NO_x i N₂). Nastali plinovi prelaze u drugi reaktor, gdje bakar pri 680 °C reducira NO_x u N₂. Plinovi koji su nastali u reaktorima prolaze kroz adsorpcijski filter, potom ohlađeni na sobnu temperaturu prolaze kroz kolonu za plinsku kromatografiju. U koloni se pomoću detektora toplinske provodljivosti mjere udjeli TN i ugljika. Mjerenje TC i TOC izvedeno je na taj način da su iz istog centimetarskog intervala jezgre izmjerena dva uzorka. Uzorak za određivanje TC izmjereno je u analizatoru bez prethodne kemijske obrade. Za određivanje TOC anorganski ugljik je otopljen prije mjerenja na CN analizatoru tako da je uzorak tretiran klorovodičnom kiselinom (1 g uzorka + 8 ml 4,2M HCl) (modificirano prema Tung & Tanner, 2003). TIC je izračunat na taj način da je od TC oduzet izračunati TOC. Preciznost i točnost analize kontrolirana je ponavljanjem mjerenja pojedinih uzoraka i mjerenjem referentnog materijala (Soil NC Reference Material; %N=0,21 i %C=2,29).

Kemijske analize sedimenata izrađene su u komercijalnom laboratoriju Bureau Veritas Analytical Laboratories Ltd. (ACME, Kanada). Metodom simultane multielementne analize atomskom emisijskom spektroskopijom s induktivno spregnutom plazmom / masenom spektroskopijom (ICP-ES/MS) analizirana su 44 kemijska elementa (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, Al, Na, K, W, Zr, Ce, Sn, Y, Nb, Ta, Be, Sc, Li, Rb, Hf, In, Re, Se, Te i Tl). Prije mjerenja se 0,25g uzorka grije na 200 °C u smjesi koncentriranih kiselina HNO₃-HClO₄-HF do isparavanja. Potom se ostatak otapa u HCl. Točnost i preciznost analize provjeravana je ponavljanjem mjerenja pojedinih uzoraka i mjerenjem referentnih standardnih uzoraka (OREAS 24P, OREAS 45E; Ore Research & Exploration Pty. Ltd. Assay Standards).

Analize frakcionacije stabilnih izotopa C (13C) i N (15N) u sedimentima izvedene su u laboratoriju University of California Davis Stable Isotope Facility.

6.6.4. Rezultati analiza

6.6.4.1. Geokemijske analize tala

Prema dobivenim geokemijskim analizama moguće je izraditi prostorne distribucije elemenata i izračunati faktore obogaćenja pojedinih elemenata u tlu. Faktor obogaćenja (EF) je indeks koji se može izračunati usporedbom s pozadinskom baznom vrijednošću. U ovom istraživanju kao pozadinska vrijednost uziman je dublji interval 30-50 cm koji je uspoređen s površinskim slojem 0-20 cm. Pritom je faktor obogaćenja:

$$EF = \text{Gornji interval (0-20cm)} / \text{Donji interval (30-50 cm)}$$

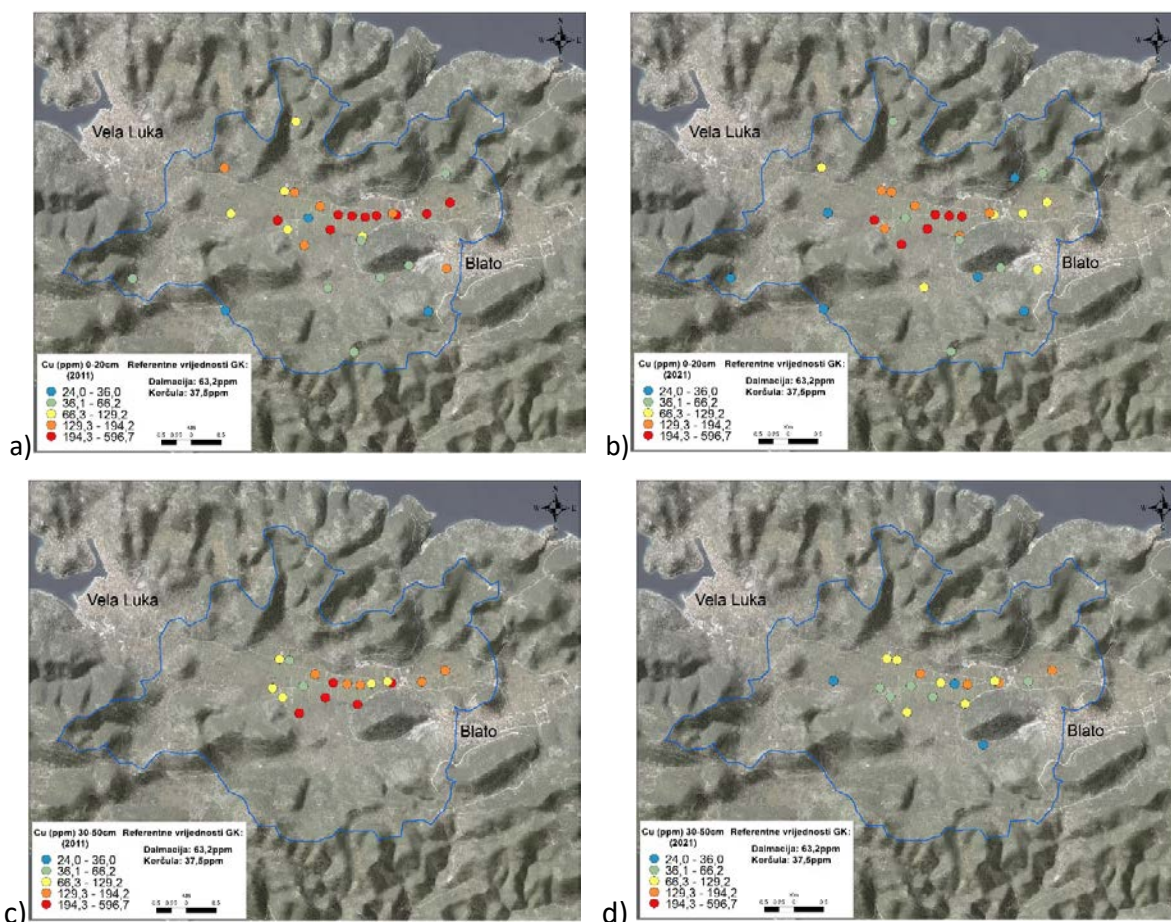
Za vrijednosti EF < 1 možemo reći da je došlo do osiromašenja određenog kemijskog elementa ili spoja u površinskom sloju, a kod EF > 1 da je površinski sloj obogaćen u odnosu na pozadinsku vrijednost. Ako je faktor obogaćenja EF = 1 nema promjena u koncentracijama pojedinog elementa u intervalima.

Također je moguće i usporediti promjene koje su u istraživanom području zabilježene u tlu tijekom posljednjih deset godina.

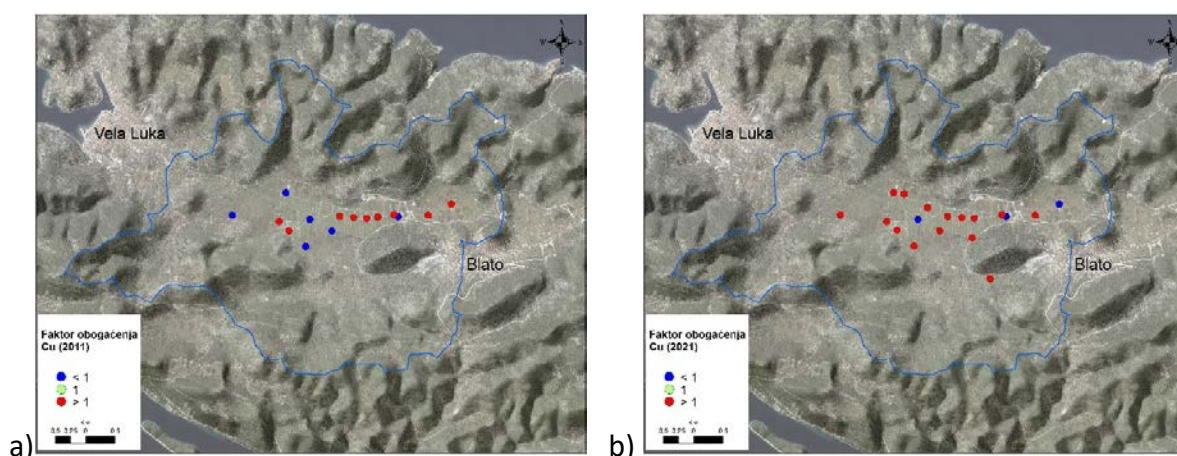
U nastavku ćemo prikazati rezultate odabranih elemenata kod kojih je uočena veća prostorna i/ili vremenska varijabilnost, a to su: bakar (Cu), željezo (Fe), magnezij (Mg), kalcij (Ca), stroncij (Sr) i olovo (Pb).

Bakar (Cu)

Koncentracije bakra u površinskim uzorcima prikupljenim 2011. godine iznose 22 ppm do 422,8 ppm, s prosječnom vrijednošću od 148,2 ppm i medianom od 128,9 ppm (Slika 6.6-4a). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 37,6-421,4 ppm a prosjek 160,1 ppm, dok median iznosi 131,9 ppm (Slika 6.6-4b). Koncentracije bakra u površinskim uzorcima prikupljenim 2021. godine iznose 24 do 596,7 ppm, s prosječnom vrijednošću od 147 ppm i medianom od 103,7 ppm (Slika 6.6-4c). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 26,8-182,6 ppm a prosjek 86,3 ppm, dok median iznosi 74,3 ppm (Slika 6.6-4d).



Slika 6.6-4. Raspodjela koncentracija bakra (Cu) na istraživanom području. a) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; b) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine; c) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; d) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine.

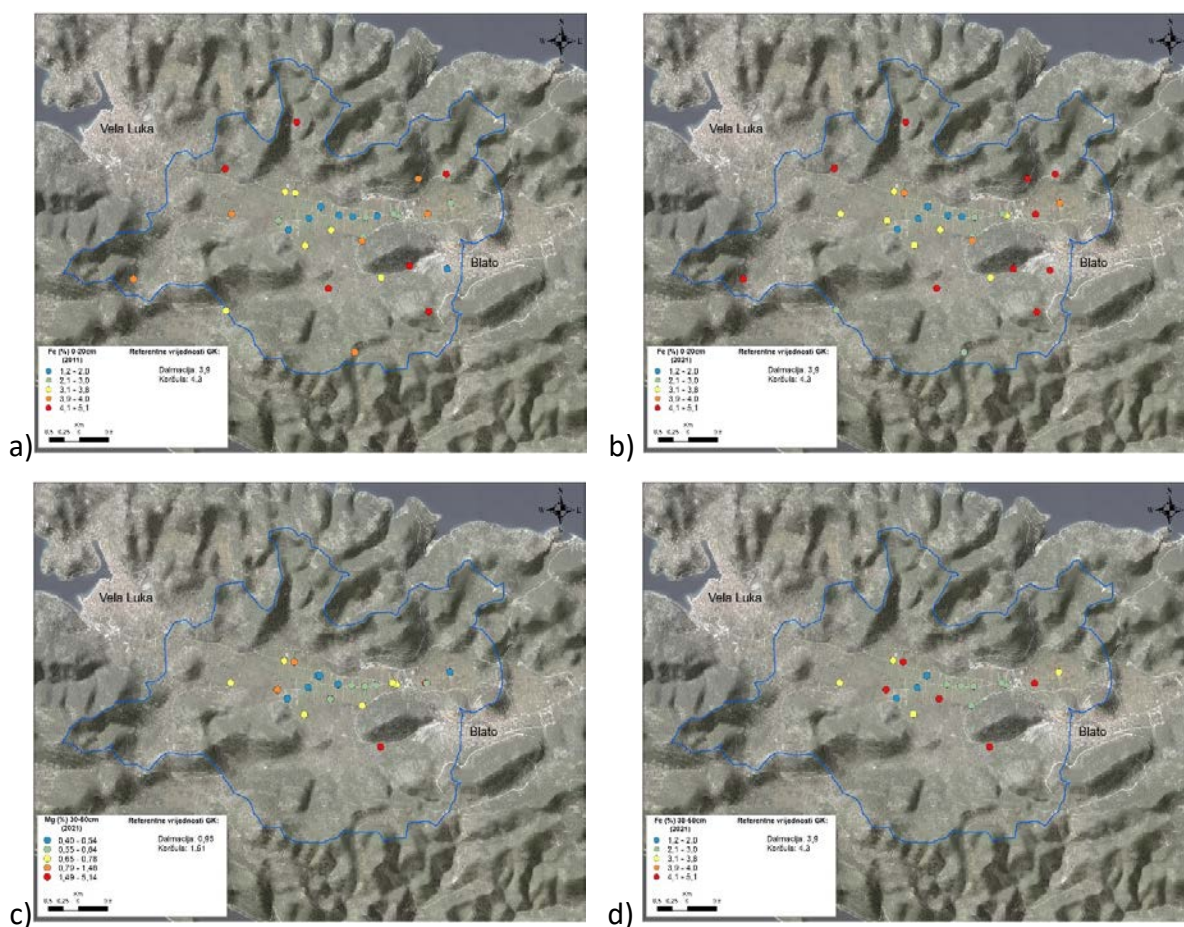


Slika 6.6-5. Faktori obogaćenja bakra za: a) uzorke prikupljene 2011. godine; b) uzorke prikupljene 2021. godine.

Faktori obogaćenja za Cu izračunati su za uzorke prikupljene 2011. godine (Slika 6.6-5a) i one prikupljene 2021. godine (Slika 6.6-5b). Faktori obogaćenja dominantno imaju vrijednosti veće od 1, odnosno pokazuju obogaćenje, što je nešto izraženije kod uzoraka iz 2021. godine.

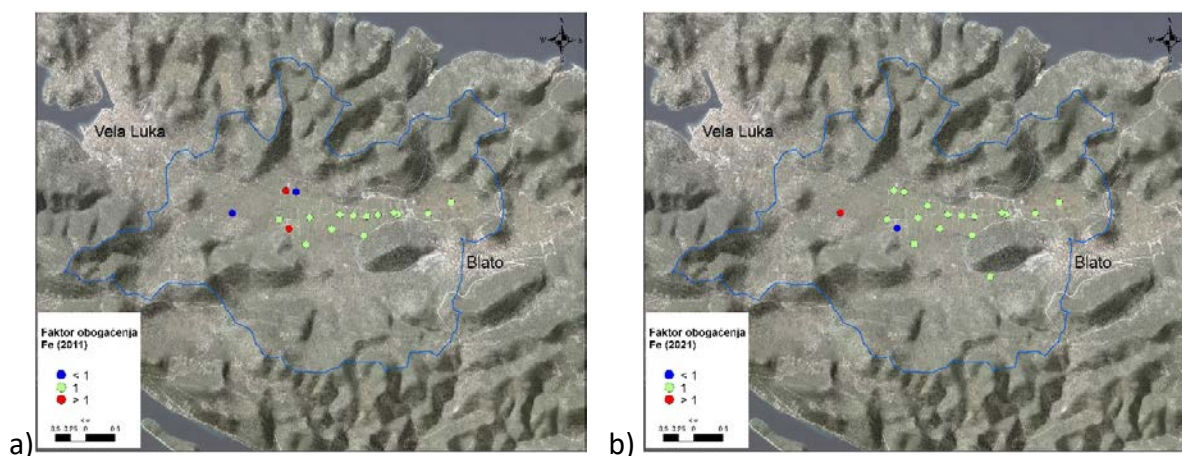
Željezo (Fe)

Koncentracije željeza u površinskim uzorcima prikupljenim 2011. godine iznose 1,2 % do 4,7 %, s prosječnom vrijednošću od 3,1 % i medianom od 3,3 % (Slika 6.6-6a). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 1,2 % do 4,4 % a prosjek 2,6 %, dok median iznosi 2,5 % (Slika 6.6-6b). Udio željeza u površinskim uzorcima prikupljenim 2021. godine iznosi 1,6 % do 5,1 %, s prosječnom vrijednošću od 3,4 % i medianom od 3,4 % (Slika 6.6-6c). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 1,5 % do 4,8 % a prosjek 3,2 %, dok median iznosi 3,2 % (Slika 6.6-6d).



Slika 6.6-6. Raspodjela koncentracija željeza (Fe) na istraživanom području. a) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; b) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine; c) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; d) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine.

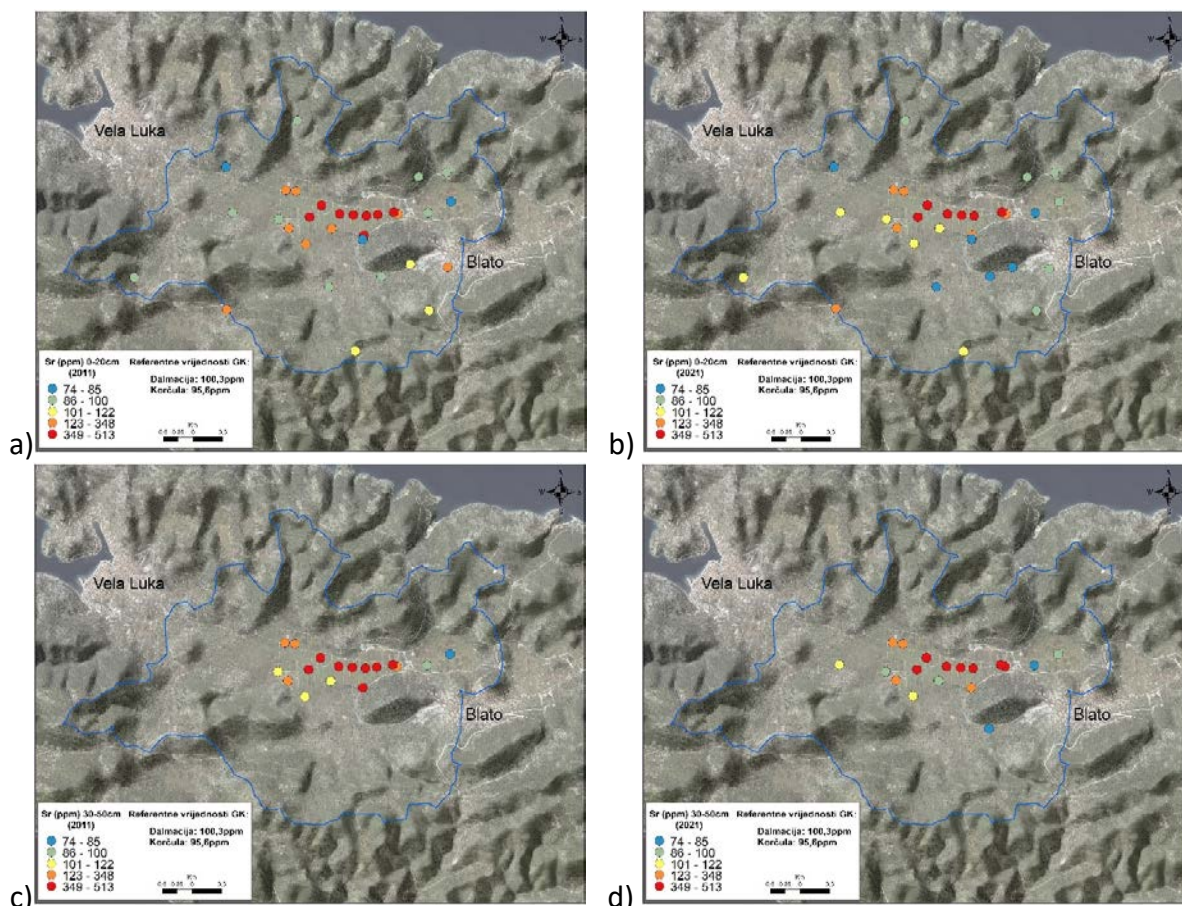
Faktori obogaćenja izračunati su za uzorke prikupljene 2011. godine (Slika 6.6-7a) i one prikupljene 2021. godine (Slika 6.6-7b). Faktori obogaćenja dominantno ukazuju na zanemarive razlike u odnosu na podlogu.



Slika 6.6-7. Faktori obogaćenja željeza za: a) uzorke prikupljene 2011. godine; b) uzorke prikupljene 2021. godine.

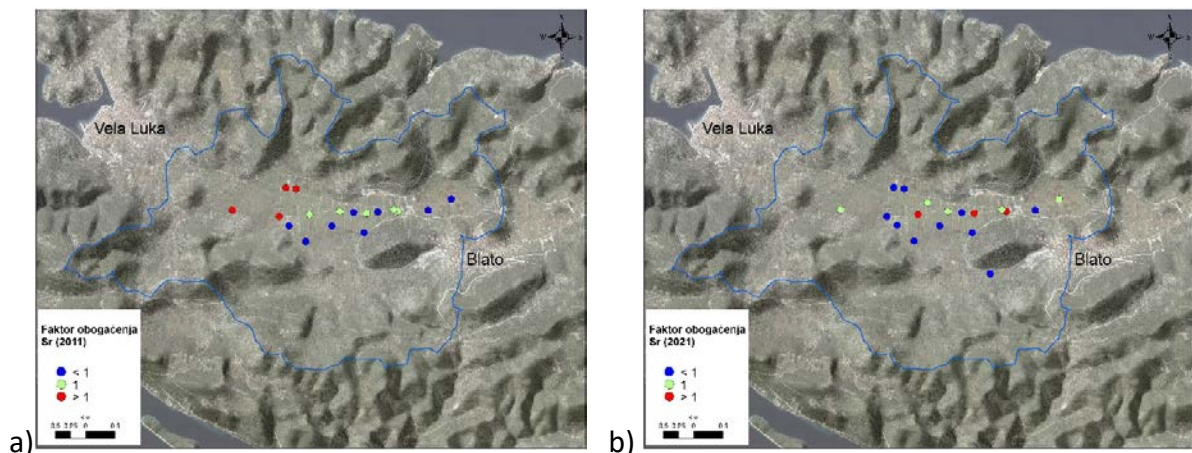
Stroncij (Sr)

Koncentracije stroncija u površinskim uzorcima prikupljenim 2011. godine iznose 75 ppm do 497 ppm, s prosječnom vrijednošću od 201 ppm i medianom od 124 ppm (Slika 6.6-8a). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 85 ppm do 499 ppm a prosjek 274 ppm, dok median iznosi 336 ppm (Slika 6.6-8b). Koncentracije stroncija u površinskim uzorcima prikupljenim 2021. godine iznose 74 ppm do 492 ppm, s prosječnom vrijednošću od 190 ppm i medianom od 113 ppm (Slika 6.6-8c). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 77-513 ppm a prosjek 251 ppm, dok median iznosi 176 ppm (Slika 6.6-8d).



Slika 6.6-8. Raspodjela koncentracija stroncija (Sr) na istraživanom području. a) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; b) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine; c) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; d) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine.

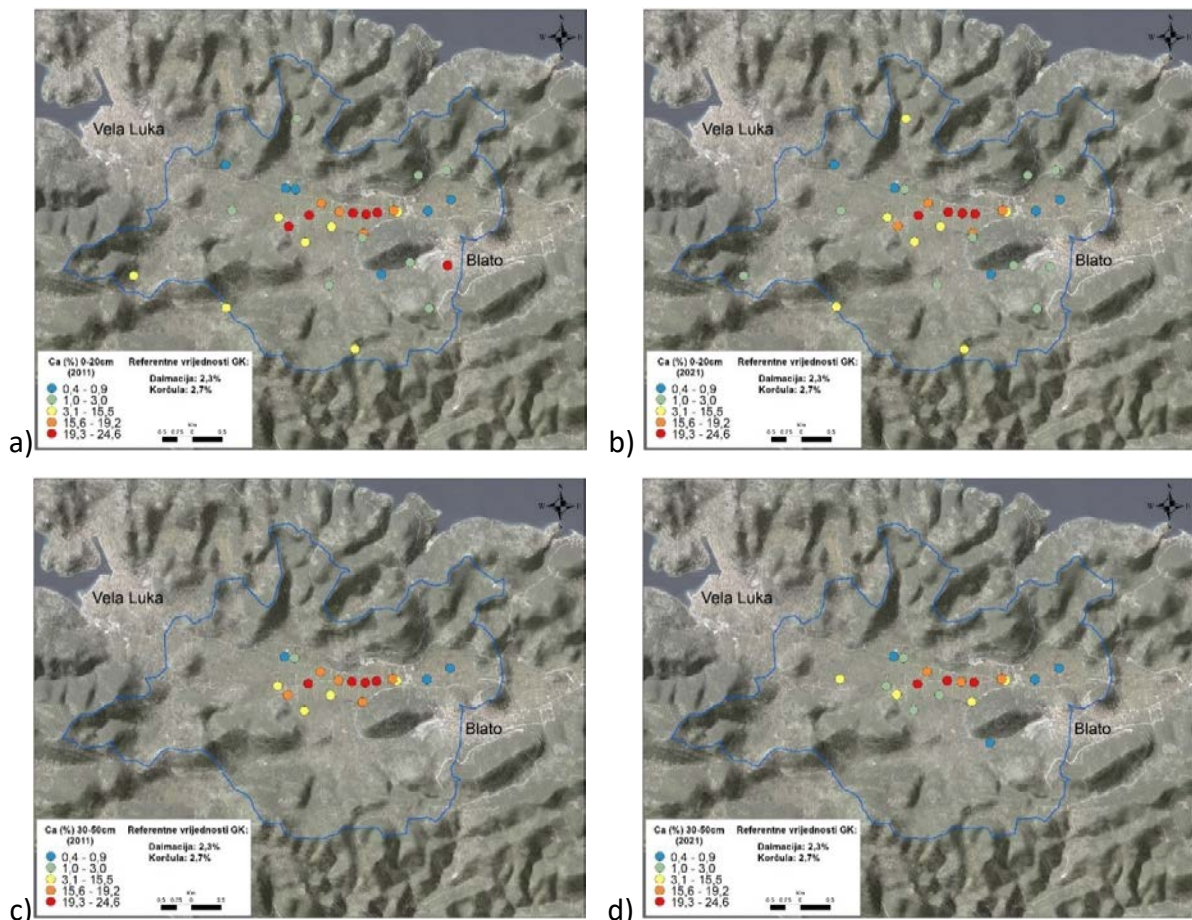
Faktori obogaćenja izračunati su za uzorke prikupljene 2011. godine (Slika 6.6-9a) i one prikupljene 2021. godine (Slika 6.6-9b). Faktori obogaćenja dominantno ukazuju na osiromašenje tla stroncijem ili stabilne uvijete bez promjena u odnosu na podlogu. Osiromašenje je nešto izraženije u uzorcima iz 2021. godine.



Slika 6.6-9. Faktori obogaćenja stroncija za: a) uzorke prikupljene 2011. godine; b) uzorke prikupljene 2021. godine.

Kalcij (Ca)

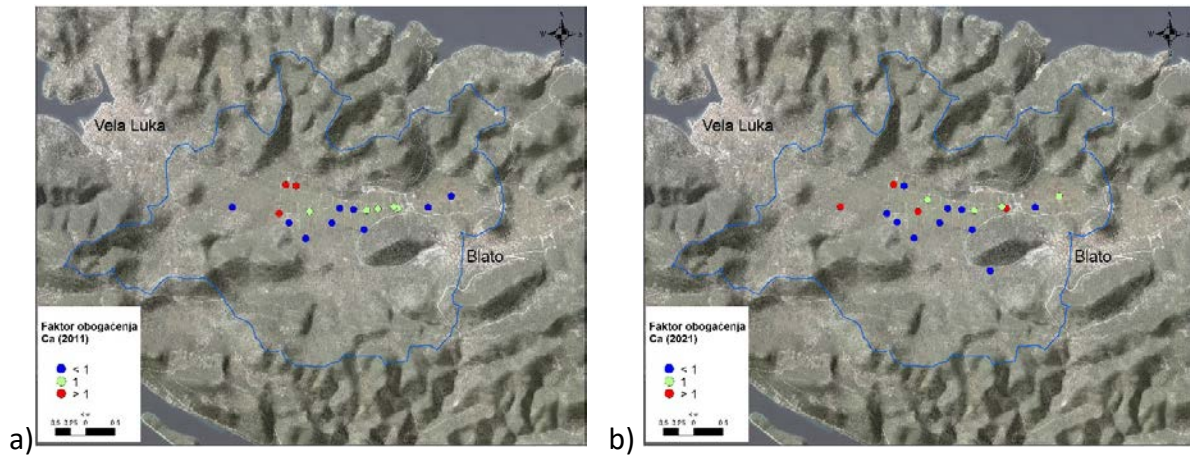
Koncentracije kalcija u površinskim uzorcima prikupljenim 2011. godine iznose 0,5 % do 21,8 %, s prosječnom vrijednošću od 8,2 % i medianom od 4,1 % (Slika 6.6-10a). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 0,4 % do 22 % a prosjek 12,2 %, dok median iznosi 16,3 % (Slika 6.6-10b).



Slika 6.6-10. Raspodjela koncentracija kalcija (Ca) na istraživanom području. a) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; b) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine; c) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; d) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine.

Udio kalcija u površinskim uzorcima prikupljenim 2011. godine iznosi 0,4 % do 23,2 %, s prosječnom vrijednošću od 7,3 % i medianom od 2,8 % (Slika 6.6-10c). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 0,4 % do 24,6 % a prosjek 9,9 %, dok median iznosi 9,4 % (Slika 6.6-10d).

Faktori obogaćenja izračunati su za uzorke prikupljene 2011. godine (Slika 6.6-11a) i one prikupljene 2021. godine (Slika 6.6-11b). Faktori obogaćenja dominantno ukazuju na osiromašenje tla kalcijem u odnosu na podlogu.

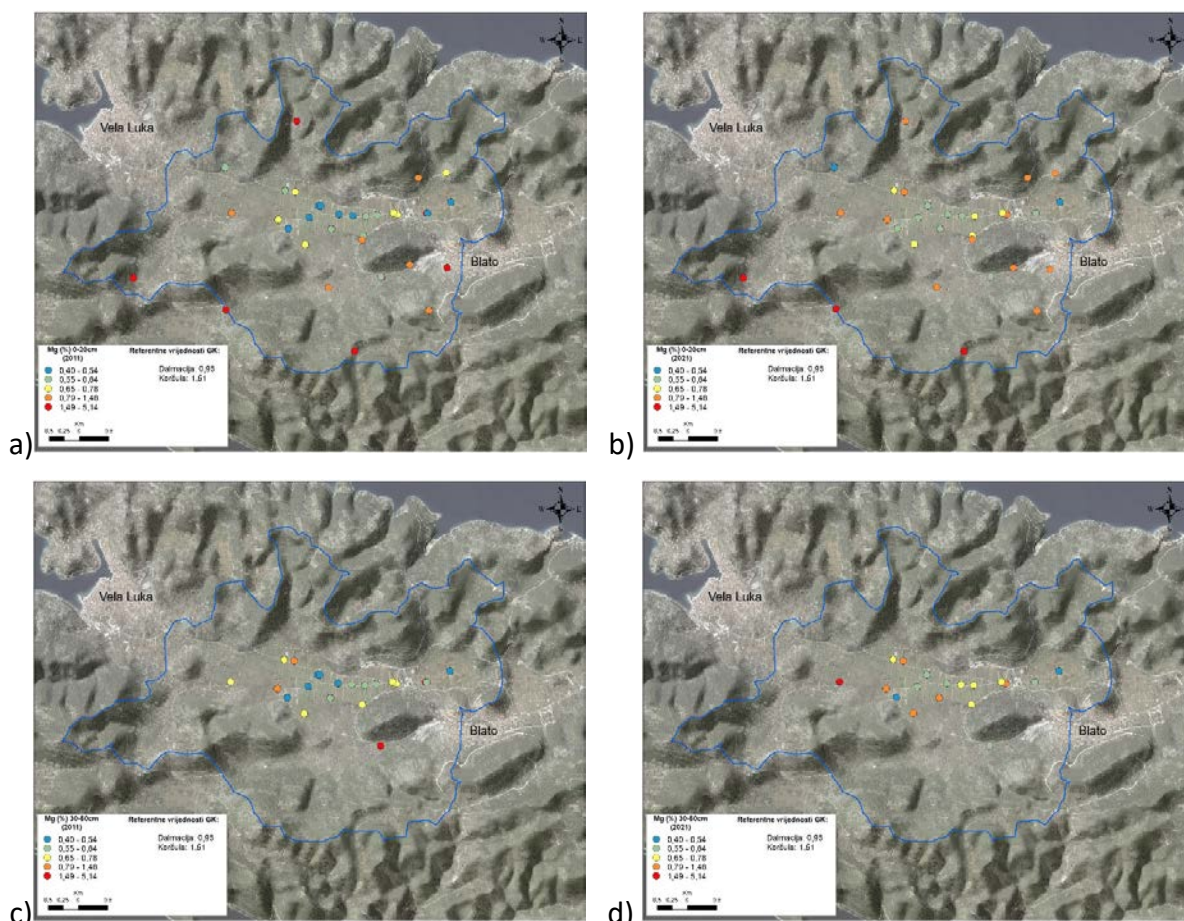


Slika 6.6-11. Faktori obogaćenja kalcija za: a) uzorke prikupljene 2011. godine; b) uzorke prikupljene 2021. godine.

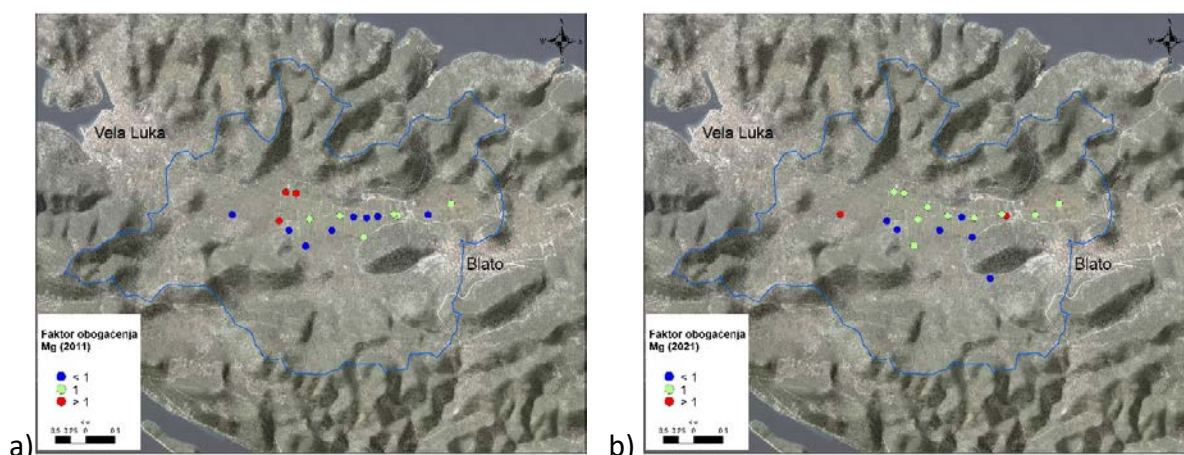
Magnezij (Mg)

Koncentracije magnezija u površinskim uzorcima prikupljenim 2011. godine iznose 0,4% do 3,33%, s prosječnom vrijednošću od 0,98% i medianom od 0,67% (Slika 6.6-12a). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 0,44% do 0,94% a prosjek 0,63%, dok median iznosi 0,6% (Slika 6.6-12b). Udio magnezija u površinskim uzorcima prikupljenim 2021. godine iznosi 0,52% do 5,14%, s prosječnom vrijednošću od 1,09% i medianom od 0,79% (Slika 6.6-12c). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 0,47% do 2,57% a prosjek 0,79%, dok median iznosi 0,69% (Slika 6.6-12d).

Faktori obogaćenja izračunati su za uzorke prikupljene 2011. godine (Slika 6.6-13a) i one prikupljene 2021. godine (Slika 6.6-13b). Faktori obogaćenja dominantno ukazuju na osiromašenje tla magnezijem u odnosu na podlogu kod uzoraka iz 2011. godine, dok su kod uzoraka iz 2021. godine vidljive uglavnom zanemarive razlike u odnosu na podlogu dok je djelomično vidljivo osiromašenje.



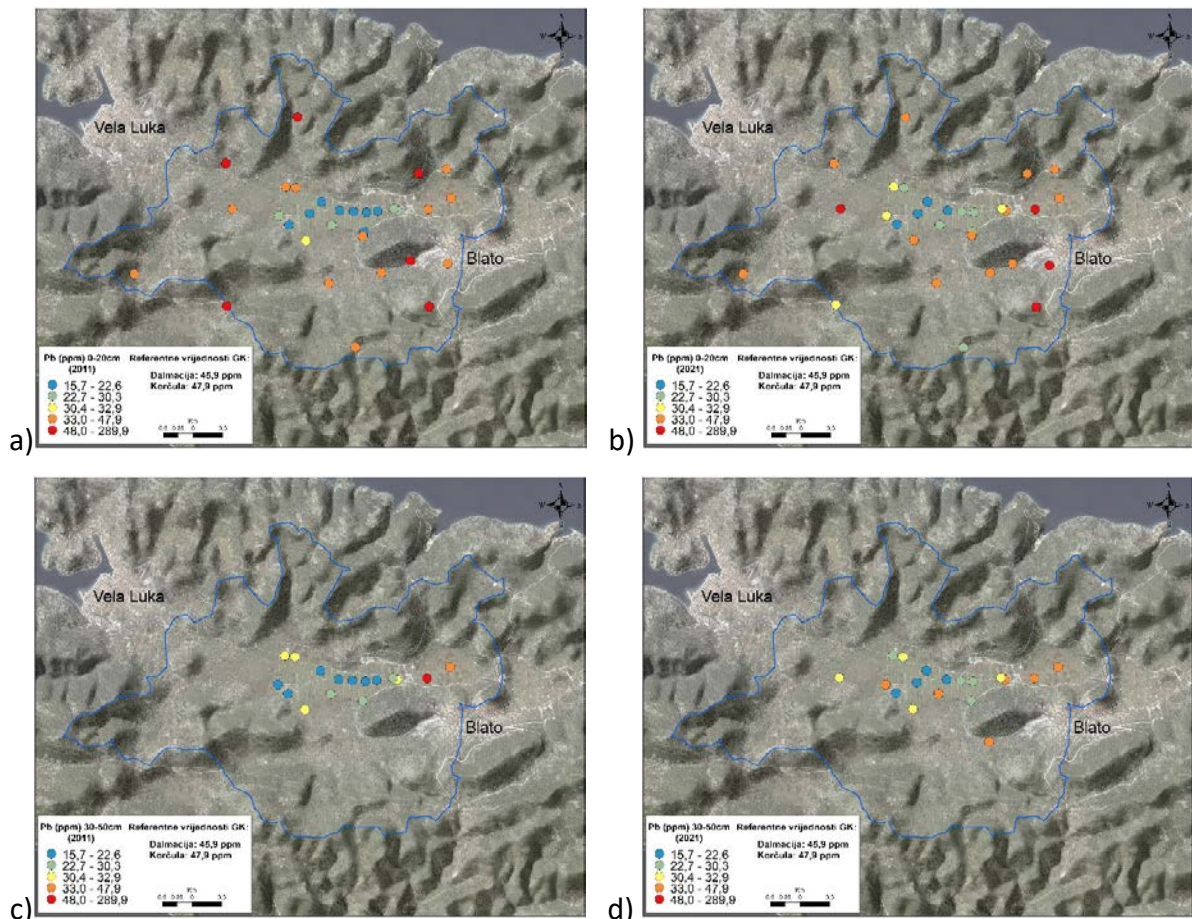
Slika 6.6-12. Raspodjela koncentracija magnezija (Mg) na istraživanom području. a) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; b) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine; c) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; d) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine.



Slika 6.6-13. Faktori obogaćenja magnezija za: a) uzorke prikupljene 2011. godine; b) uzorke prikupljene 2021. godine.

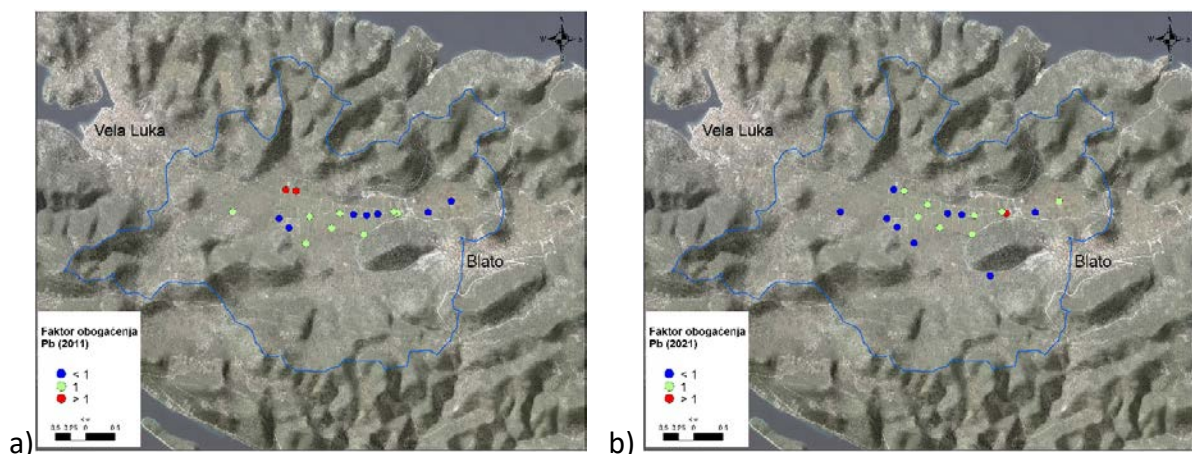
Olovo (Pb)

Koncentracije olova u površinskim uzorcima tala prikupljenim 2011. godine iznose 16,2 ppm do 71,6 ppm, s prosječnom vrijednošću od 35,4 ppm i medianom od 34,3 (Slika 6.6-14a). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 15,6 ppm do 48,3 ppm a prosjek 35,4 ppm, dok median iznosi 24,5 ppm (Slika 6.6-14b). Udio olova u površinskim uzorcima prikupljenim 2021. godine iznosi 20,5 do 289,9 ppm, s prosječnom vrijednošću od 43,8 ppm i medianom od 34,8 ppm (Slika 6.6-14c). U dubljem intervalu 30-50 cm koncentracije iznose 15,7 ppm do 46,3 ppm a prosjek 30,9 ppm, dok median iznosi 31,4 ppm (Slika 6.6-14d).



Slika 6.6-14. Raspodjela koncentracija olova (Pb) na istraživanom području. a) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; b) Interval 0-20 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine; c) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2011. godine; d) Interval 30-50 cm analiziran na uzorcima iz 2021. godine.

Faktori obogaćenja olova izračunati su za uzorke prikupljene 2011. godine (**Slika 6.6-15a**) i one prikupljene 2021. godine (**Slika 6.6-15b**). Faktori obogaćenja dominantno ukazuju na zanemarive razlike ili blago osiromašenje tla olovom u odnosu na podlogu.



Slika 6.6-15. Faktori obogaćenja olova za: a) uzorke prikupljene 2011. godine; b) uzorke prikupljene 2021. godine.

Diskusija

Znatan dio poljoprivrednih tala Blatskog polja zasađen je vinovom lozom. Radi redovitog tretiranja vinograda bordoškom juhom (mješavina modre galice ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) i vapna) i procjeđivanja mješavine u tlo, detektirana je u središnjem dijelu istraživanog polja (odnosno u poljoprivrednim tlima) povišena koncentracija bakra i kalcija

(Slika 6.6-4 i 6.6-10). Usporedbom prosječnih koncentracija Cu u površinskim intervalima 2011. i 2021. godine s prosječnim vrijednostima iz Geokemijskog atlasa RH (Halamić & Miko, 2009), vrlo je očito da su koncentracije bakra znatno povišene. Prosjek tala Blatskog polja iz 2011. je 148,2 ppm, iz 2021. 147 ppm, a prosjek uzoraka iz Geokemijskog atlasa prikupljenih na području Dalmacije iznosi 63,2 ppm. Prosjeci koncentracija bakra u dubljem intervalu u Blatskom polju također su više od prosjeka Geokemijskog atlasa s vrijednostima 160,1 i 86,3 ppm. Ipak je vidljivo sniženje koncentracija u recentnim dubljim uzorcima, do kojeg je vjerojatno došlo uslijed djelomičnog zapuštanja vinograda u polju ili promjena u praksi tretiranja vinograda. Faktori obogaćenja vrlo su visoki, što ukazuje na površinski izvor zagađenja koje se znatno više zadržava u površinskom intervalu.

Povišen udio kalcija u svim intervalima koji iznosi 8-12% u usporedbi s prosjekom Geokemijskog atlasa RH (Halamić & Miko, 2009) područja Dalmacije od 2,3% može se objasniti korištenjem bordoške juhe ali i geogenim podrijetlom. Jednako kao i povišena distribucija stroncija, povišeni udjeli podudarni su s područjima Blatskog polja na kojima se nalaze jezerski sedimenti odnosno područja zahvaćena poplavlivanjem prije izgradnje sustava odvodnje.

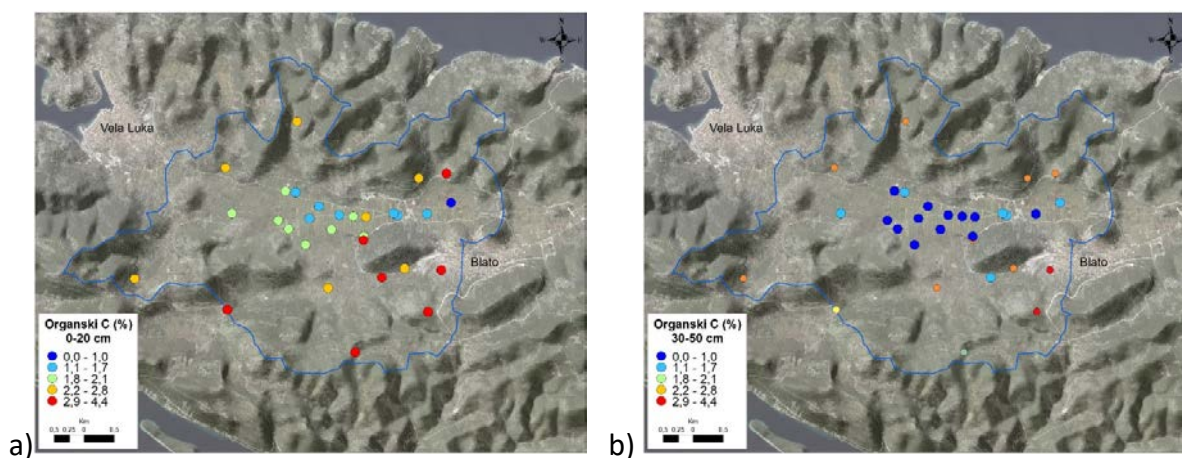
Koncentracija olova u prosjeku je u svim intervalima niža od prosječne koncentracije za područje Dalmacije, koja iznosi 45,9 ppm. Povišene vrijednosti vidljive su u površinskim uzorcima, i vezane su uz naselja i šumska područja (Slika 6.6-14). Povišene koncentracije u šumskim tlama vezane su uz geokemiju kiselih tala koja apsorbiraju veću količinu olova iz padalina ili aerosola (Miko et al., 2000). Faktori obogaćenja pokazuju da je distribucija olova ravnomjerna duž cijelog profila tla, a nije samo vezana uz površinski sloj.

6.6.4.2. Analiza ugljika i dušika u tlu

Analize ugljika i dušika u tlu omogućila su prikaz distribucije analiziranih spojeva važnih u poljoprivrednim tlama te izračun zaliha ugljika u tlu. Analize su izrađene samo za uzorke prikupljene 2021. godine, pa nije bilo moguće usporediti promjene u koncentracijama i zalihama u odnosu na 2011. godinu.

Distribucija organskog ugljika u tlu

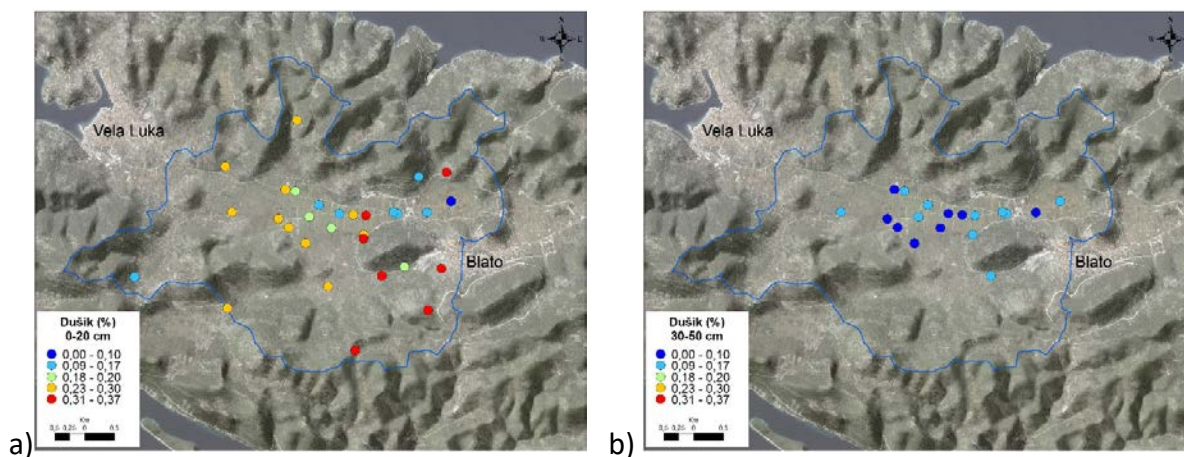
Raspodjela organskog ugljika (TOC) u površinskom intervalu tla (0-20 cm) vidljiva na slici 6.6-16a ukazuje da je udio TOC dominantno >1%, a u prosječna vrijednost iznosi 2,2%. Udio TOC u dubljem horizontu (30-50 cm) (Slika 6.6-16b) je niži i većinom iznosi <1%, s prosječnom vrijednošću od 0,9%.



Slika 6.6-16. Distribucija TOC na istraživanom području. a) Interval tla 0-20 cm; b) Interval tla 30-50.

Distribucija dušika u tlu

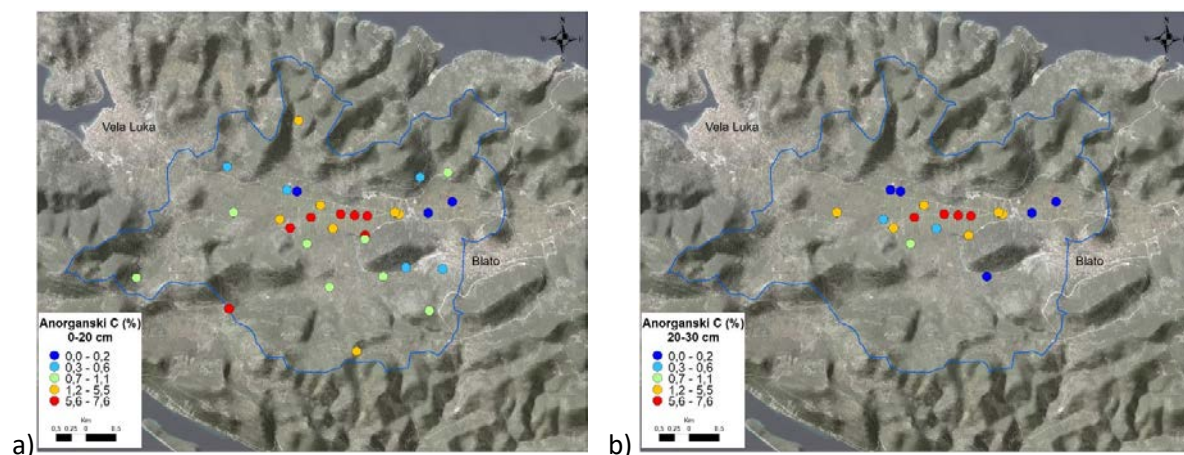
Raspodjela dušika (N) u površinskom intervalu tla (0-20 cm) prikazana je na slici 6.6-17a. Udio N površinskih uzoraka većinom iznosi >0,2%, s prosječnom vrijednošću od 0,23%. Udio N u dubljem horizontu (30-50 cm) je niži i većinom iznosi <0,15%, prosječno 0,1%.



Slika 6.6-17. Distribucija N na istraživanom području. a) Interval tla 0-20 cm; b) Interval tla 30-50.

Distribucija anorganskog ugljika u tlu

Anorganski ugljik (TIC) u uzorcima tala Blatskog polja pokazuje sličnu distribuciju u oba intervala (prosječni udio u površinskom horizontu je 2,5% a u dubljem 3,1%), s izrazito višim udjelima u središnjem dijelu polja i nižim padinskim područjima (Slika 6.6-18).



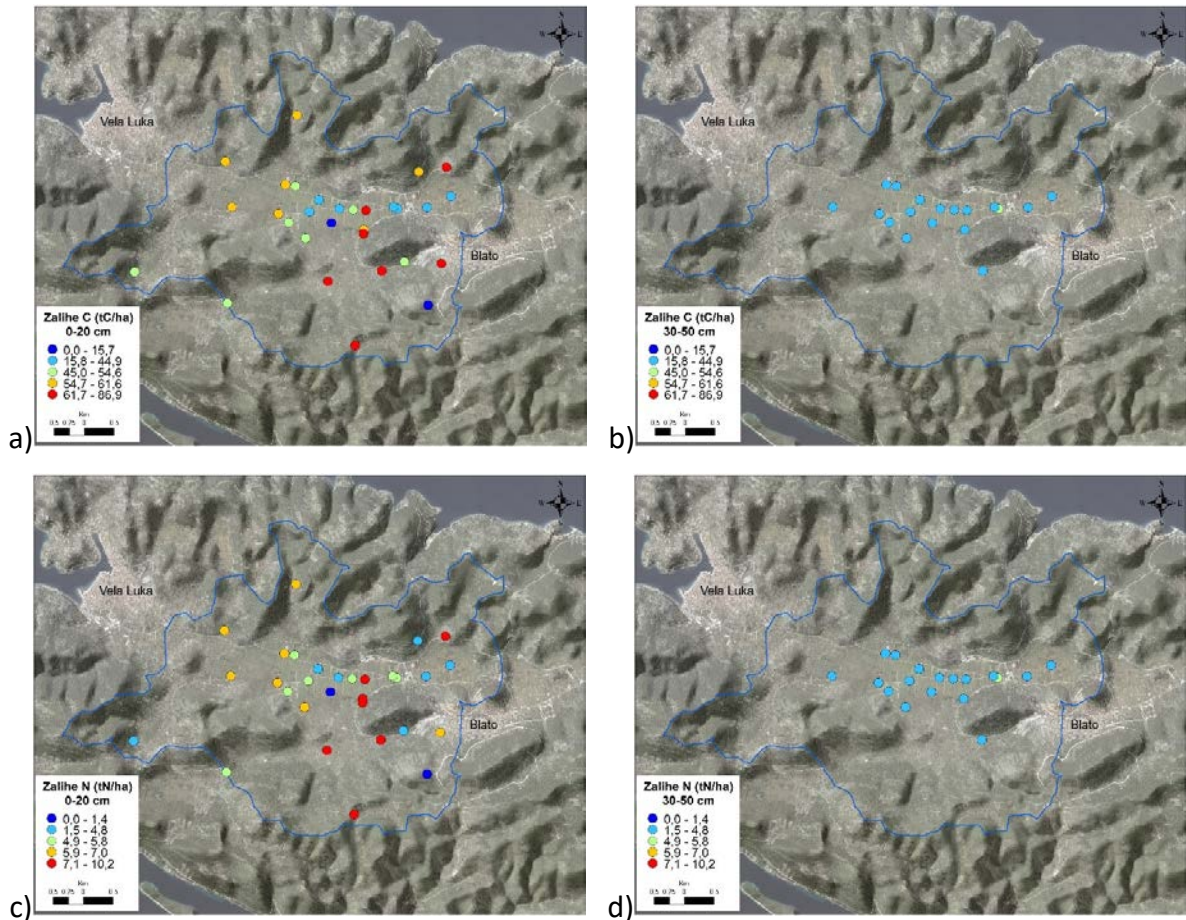
Slika 6.6-18. Distribucija TIC na istraživanom području. a) Interval tla 0-20 cm; b) Interval tla 30-50.

Zalihe ugljika i dušika u tlu

Zalihe C i N u tlima Blatskog polja izračunate su prema jednadžbi:

$$\text{Zalihe ugljika (tC/ha)} = \text{udio (C\%)} * \text{gustoća tla (g/cm}^3\text{)} * \text{debljina horizonta}$$

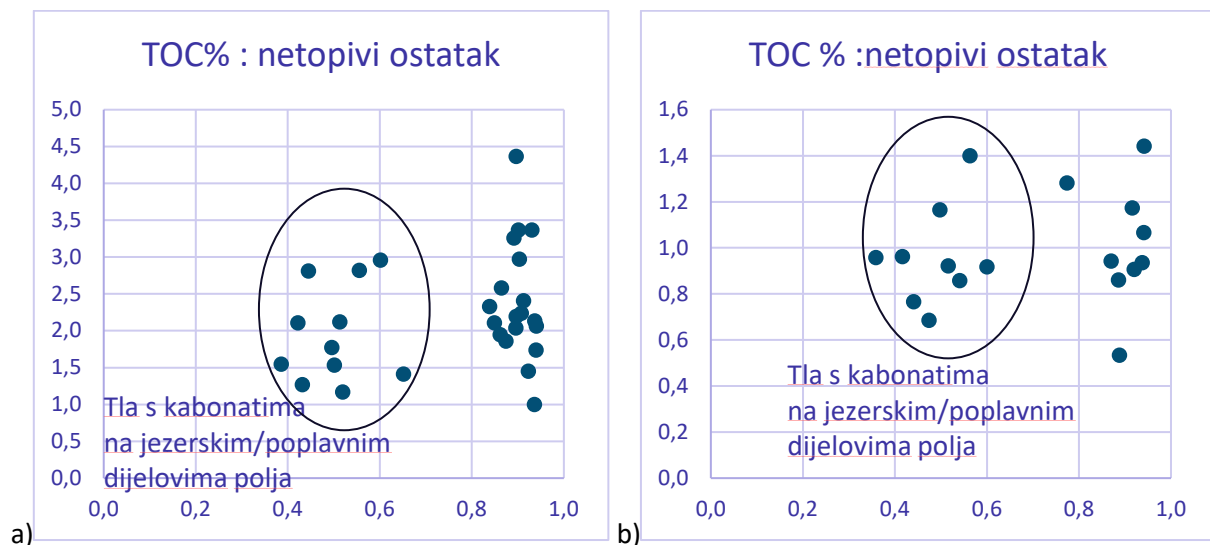
Kalkulacija zaliha računata je bez uvrštavanja udjela fragmenata stijena. Debljina horizonta je bila 20 cm. Distribucija zaliha u tlima prikazana je na slici 6.6-19. Raspon izračunatih zaliha C iznosi 29,6 tC/ha do 86,9 tC/ha s prosječnom vrijednošću od 55,9 tC/ha u površinskom intervalu. U intervalu 30-50 cm raspon izračunatih zaliha iznosi 15,8 tC/ha do 47 tC/ha s prosjekom od 30 tC/ha. Raspon izračunatih zaliha N u površinskom intervalu iznosi 2,9 tC/ha do 10,2 tC/ha s prosječnih 5,9 tC/ha, dok u dubljem intervalu raspon iznosi 1,4 tC/ha do 5 tC/ha s prosjekom od 3,1 tC/ha.



Slika 6.6-19. Distribucija izračunatih zaliha C i N na istraživanom području. a) Raspodjela zaliha C u intervalu 0-20 cm; b) Raspodjela zaliha C u intervalu 30-50 cm; c) Raspodjela zaliha N u intervalu 0-20 cm; d) Raspodjela zaliha N u intervalu 30-50 cm.

Diskusija

Distribucija TOC u tlima Blatskog polja ukazuje na više udjele u šumskim tlima, a također i više udjele općenito u površinskom horizontu. Prema prosječnom udjelu TOC u površinskom horizontu od 2-3% ova tla možemo karakterizirati kao umjereno humuzna tla. Udio organske tvari tala Blatskog polja ne ovisi o udjelu karbonata, jer su rasponi vrlo slični u svim vrstama uzorkovanih tala (Slika 6.6-20 i 6.6-17).

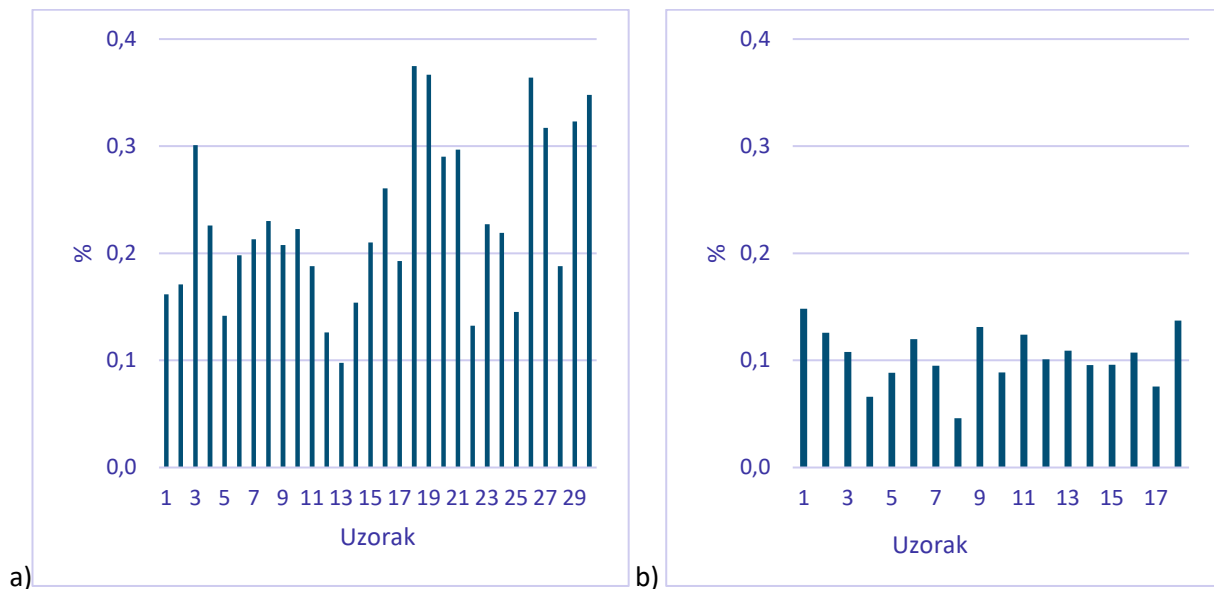


Slika 6.6-20. Odnos TOC i netopivog ostatka u površinskom intervalu (a) i intervalu 30-50 cm (b). Elipsom su istaknuta tla formirana na jezerskim ili poplavnim dijelovima polja.

Na grafovima su elipsom istaknuta tla formirana na jezerskim ili poplavnim dijelovima polja, koja se dobro izdvajaju od ostalih uzorkovanih tala, no raspon udjela TOC je svima sličan. Ukoliko usporedimo udio TOC u tlima Blatskog polja s prosječnim vrijednostima izračunatim za tla Republike Hrvatske u intervalu 0-20 cm (Miko et al., 2017) koji iznosi 2,91%, možemo zaključiti da tla u polju imaju prosječan udio TOC.

Visoki udjeli anorganskog ugljika vezani su većinom uz tla koja su razvijena na jezerskim sedimentima u polju (Slika 6.6-18 i 6.6-20) To su jako karbonatična tla u središnjem dijelu sljeva koja su se razvila na sedimentima koji su nastajali u jezerskom okolišu koji je egzistirao prije melioracije na središnjem dijelu Blatskog polja.

Tla koja sadrže od 0,1-do 0,2% dušika smatraju se dobro opskrbljenima, a ona s 0,2-0,3% N su bogato opskrbljena tla pogodna za poljoprivredu. Uzorci iz površinskog intervala tla u prosjeku sadrže 2,3% N, a udio seže i do 0,37% (Slika 6.6-21 i 6.6-17), pa su većinom tla sljeva Blatskog polja bogato opskrbljena dušikom i pogodna za poljoprivredu. Na kartama (Slika 6.6-17) je također vidljivo da udio dušika u samom polju dosta varira, s povoljnim prosjekom udjela N uzoraka poljoprivrednih tala iz samog polja (bez okolnih tala iz sljeva) od 0,21%, a uzorci variraju od dobro do bogato opskrbljenih dušikom. Dublji interval tla nešto je siromašniji dušikom, no s prosjekom >0,1% i dalje je dobro opskrbljen (Slika 6.6-21). Ukoliko usporedimo udio ukupnog dušika u tlima Blatskog polja (0,23%) s prosječnim vrijednostima izračunatim za tla Republike Hrvatske u intervalu 0-20 cm (Miko et al., 2017) koji iznosi 0,25%, možemo zaključiti da tla u polju ne odstupaju od prosječnog udjela dušika u tlima.



Slika 6.6-21. Udio N u prikupljenim uzorcima. a) Interval tla 0-20 cm; b) Interval tla 30-50.

Organski ugljik u tlu potječe iz organskog otpada, odumrlog korijena, izlučivanja živog korijena, i slično, a važan je izvor hranjiva za rast biljaka. Do promjena zaliha ugljika pohranjenog u tlu može doći uslijed klimatskih promjena, promjene kategorije korištenja zemljišta ili načina korištenja, uklanjanjem biomase, melioracije ili povećanjem temperature tla, a pritom može doći do emisije ili odliva stakleničkih plinova (CO_2 , CH_4). U tlima Republike Hrvatske primjetan je trend pada zalihe organskog ugljika (Miko et al., 2017), a srednja vrijednost u intervalu 0-30 cm iznosi 66,91 tC/ha, dok za oranice iznosi 53,02 tC/ha a vinograde 55,35 tC/ha, dok kod zemljišta u zarastanju iznosi 66,15 tC/ha. Kako je prosječna vrijednost tala u Blatskom polju 55,9 tC/ha u intervalu 0-20 cm, možemo reći da zalihe ugljika u tlima ne odstupaju od prosjeka. Odnos TOC i N u tlima Blatskog polja u prosjeku iznosi 9,6, što je odnos pogodan za poljoprivredu. Također, odnos je usporediv s prosjekom tala RH koji u intervalu 0-20 cm iznosi 10,13 (Miko et al., 2017).

6.6.4.2. Analiza stabilnih izotopa ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) i dušika ($\delta^{15}\text{N}$) u organskoj tvari tla

Izotopni sastav organske tvari analiziran je u ukupno 48 uzoraka. Uzorci tla najprije su sušeni na zraku, i prosijani na 60 mikrona. Za svaki uzorak tla, poduzorak je izvagan u čaše i zakiseljen dodavanjem 8 ml HCl (10 %) otopine kako bi se otopio anorganski C.

Uzorci su zatim odvagani u kositrene lončice i analizirani na Sveučilištu Davis, Kalifornija, na Odjelu za biljne znanosti, u Laboratoriju za stabilne izotope (SIF). Analizirani su izotopi ^{13}C i ^{15}N u organskoj tvari uzoraka, pomoću elementarnog analizatora povezanog s masenim spektrometrom omjera izotopa kontinuiranog protoka (IRMS). Uzorci se simultano analiziraju za ^{13}C i ^{15}N u istom uzorku. Analiza u SIF-u provodi se pomoću EA-IRMS sustava. Izotopi ^{13}C i ^{15}N u uzorcima su analizirani korištenjem elementarnog analizatora PDZ Europa ANCA-GSL povezanog s masenim spektrometrom omjera izotopa PDZ Europa 20-20 (Sercon Ltd., Cheshire, UK). Uzorci se spaljuju na 1000 °C u reaktoru napunjenom krom oksidom i posrebrenim bakrenim oksidom. Nakon izgaranja, oksidi se uklanjaju u redukcijском reaktoru (reducirani bakar na 650 °C) prije ulaska u IRMS. Ponovljivost mjerenja $\delta^{13}\text{C}$ bila je bolja od ± 0.2 ‰. Rezultati analiza su prikazani u **Tablici 6.6-2**, a statistički parametri (srednja vrijednost) za pojedine tipove tla u **Tablici 6.6-3**.

Tablica 6.6-2. Rezultati analize izotopa dušika ($\delta^{15}\text{N}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u organskoj tvari u tlima i tip tla prema upotrebi.

| Uzorak / dubina (cm) | $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰) | Total C (μg) | $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) | Total N (μg) | C/N | CLC |
|----------------------|---|---------------------------|--|---------------------------|-------|----------------|
| KBPT-01-21 0-20 | -25,00 | 844,87 | 6,77 | 91,40 | 9,24 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-01-21 30-50 | -24,94 | 792,00 | 6,98 | 83,90 | 9,44 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-02-21 0-20 | -26,09 | 878,75 | 5,52 | 92,40 | 9,51 | VOĆNJAK |
| KBPT-02-21 30-50 | -25,66 | 834,71 | 6,38 | 89,18 | 9,36 | VOĆNJAK |
| KBPT-04-21 0-20 | -27,61 | 971,11 | 5,97 | 91,17 | 10,65 | VINOGRAD |
| KBPT-04-21 30-50 | -25,84 | 863,95 | 6,96 | 89,97 | 9,60 | VINOGRAD |
| KBPT-05-21 0-20 | -27,05 | 965,08 | 5,81 | 88,86 | 10,86 | VINOGRAD |
| KBPT-05-21 30-50 | -25,41 | 555,08 | 7,63 | 60,40 | 9,19 | VINOGRAD |
| KBPT-06-21 0-20 | -25,82 | 900,68 | 6,86 | 91,41 | 9,85 | VINOGRAD |
| KBPT-06-21 30-50 | -25,96 | 924,83 | 7,33 | 95,32 | 9,70 | VINOGRAD |
| KBPT-07-21 0-20 | -26,27 | 816,16 | 6,85 | 87,88 | 9,29 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-07-21 30-50 | -26,31 | 853,48 | 7,32 | 93,90 | 9,09 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-08-21 0-20 | -26,34 | 876,07 | 7,49 | 88,84 | 9,86 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-08-21 30-50 | -26,37 | 872,33 | 8,13 | 94,95 | 9,19 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-09-21 0-20 | -27,15 | 933,06 | 6,76 | 91,06 | 10,25 | VINOGRAD |
| KBPT-09-21 30-50 | -26,04 | 378,30 | 8,45 | 39,63 | 9,55 | VINOGRAD |
| KBPT-10-21 0-20 | -26,76 | 1054,52 | 4,37 | 98,34 | 10,72 | VINOGRAD |
| KBPT-10-21 30-50 | -26,23 | 881,99 | 5,64 | 88,00 | 10,02 | VINOGRAD |
| KBPT-11-21 0-20 | -24,26 | 860,84 | 6,22 | 91,64 | 9,39 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-11-21 30-50 | -24,97 | 572,66 | 7,53 | 60,99 | 9,39 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-12-21 0-20 | -26,33 | 985,15 | 5,14 | 98,71 | 9,98 | VOĆNJAK |
| KBPT-12-21 30-50 | -25,86 | 880,40 | 5,71 | 93,50 | 9,42 | VOĆNJAK |
| KBPT-13-21 0-20 | -26,25 | 946,40 | 7,30 | 95,08 | 9,95 | VINOGRAD |
| KBPT-13-21 30-50 | -26,12 | 983,47 | 7,29 | 97,61 | 10,08 | VINOGRAD |
| KBPT-14-21 0-20 | -26,12 | 1064,02 | 7,55 | 105,14 | 10,12 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-14-21 30-50 | -26,57 | 678,37 | 6,28 | 67,51 | 10,05 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-15-21 0-20 | -26,65 | 1023,88 | 6,57 | 105,52 | 9,70 | VINOGRAD |
| KBPT-15-21 30-40 | -25,75 | 571,53 | 7,25 | 60,81 | 9,40 | VINOGRAD |

| | | | | | | |
|------------------|--------|---------|------|--------|-------|----------------|
| KBPT-16-21 0-20 | -27,63 | 1045,32 | 4,48 | 103,82 | 10,07 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-16-21 30-50 | -26,47 | 676,32 | 6,12 | 69,45 | 9,74 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-17-21 0-20 | -28,05 | 985,62 | 4,19 | 101,07 | 9,75 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-17-21 30-50 | -26,34 | 940,61 | 6,70 | 102,43 | 9,18 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-18-21 0-20 | -27,36 | 1041,16 | 3,72 | 98,35 | 10,59 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-18-21 30-50 | -26,07 | 556,07 | 6,37 | 52,26 | 10,64 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-19-20 0-20 | -26,44 | 1159,75 | 5,10 | 105,17 | 11,03 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-20-21 0-20 | -27,32 | 1136,79 | 4,54 | 106,97 | 10,63 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-20-21 30-40 | -26,29 | 889,91 | 7,01 | 82,91 | 10,73 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-21-21 0-20 | -27,20 | 1068,85 | 4,06 | 105,19 | 10,16 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-22-21 0-15 | -26,47 | 1227,32 | 4,44 | 100,89 | 12,17 | ŠUMA |
| KBPT-23-21 0-20 | -26,55 | 1480,66 | 5,95 | 84,18 | 17,59 | ŠUMA |
| KBPT-24-21 0-20 | -26,98 | 1067,26 | 5,36 | 101,69 | 10,50 | ŠUMA |
| KBPT-25-21 0-20 | -26,56 | 1265,99 | 5,31 | 106,34 | 11,91 | ŠUMA |
| KBPT-26-21 0-20 | -26,41 | 1575,25 | 6,30 | 101,77 | 15,48 | ŠUMA |
| KBPT-27-21 0-20 | -25,45 | 1140,61 | 6,60 | 106,72 | 10,69 | POLJOPRIVREDNO |
| KBPT-28-21 0-20 | -26,66 | 1148,43 | 5,70 | 103,71 | 11,07 | URBANO |
| KBPT-29-21 0-20 | -27,00 | 1626,03 | 5,52 | 113,10 | 14,38 | ŠUMA |
| KBPT-30-21 0-20 | -26,47 | 1680,52 | 4,97 | 105,23 | 15,97 | ŠUMA |
| KBPT-31-21 0-20 | -27,14 | 1045,15 | 4,79 | 97,49 | 10,72 | POLJOPRIVREDNO |

Tablica 6.6-3. Srednje vrijednosti izotopa dušika i ugljika u organskoj tvari u tlima i tip tla prema upotrebi.

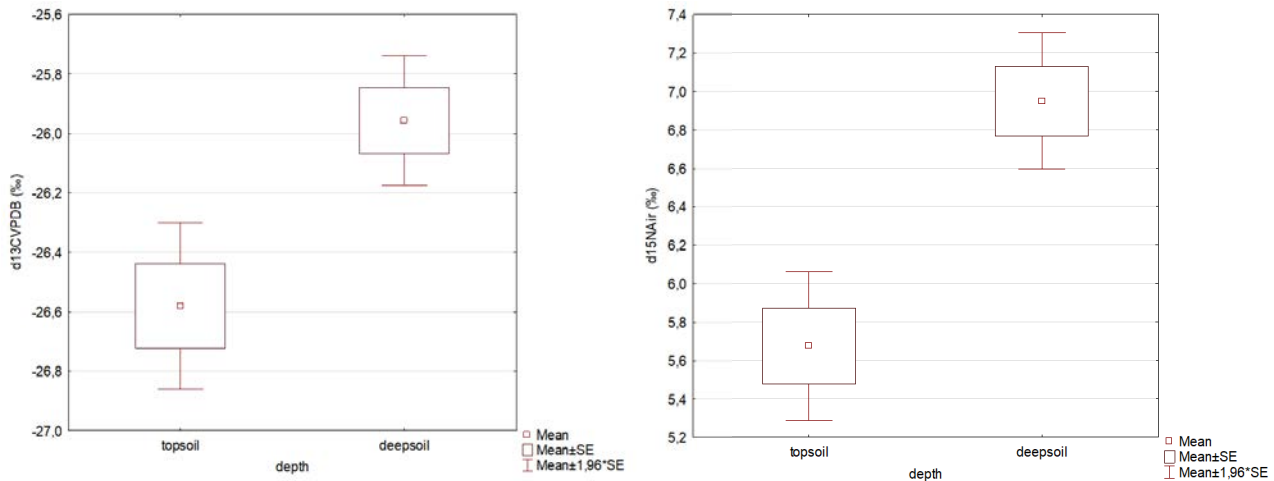
| CLC | N(broj uzoraka) | $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰) sr.vr. | $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) sr.vr. | TOC (μg) sr.vr. | Ukupni N (μg) sr.vr. |
|--------------------------|-----------------|--|---|------------------------------|-----------------------------------|
| Poljoprivredno zemljište | 22 | -26,31 | 6,12 | 905 | 90 |
| Trajni nasadi | 4 | -25,98 | 5,68 | 894 | 93 |
| Vinogradi | 14 | -26,33 | 6,72 | 853 | 85 |
| Šume i makija | 7 | -26,63 | 5,4 | 1417 | 101 |
| Gradska područja | 1 | -26,66 | 5,69 | 1148 | 103 |
| Sve grupe | 48 | -26,34 | 6,15 | 969 | 91 |

Distribucija izotopnog sastava $\delta^{13}\text{C}$ pokazuje više vrijednosti u dubljim horizontima tla (deepsoil) kao i za $\delta^{15}\text{N}$ (Slika 6.6-22). Na poljoprivrednim zemljištima zbog intenzivne obrade tla povećava se stopa razgradnje organskog ugljika u tlu (Soil Organic Carbon, SOC), a miješanje starog i novog C dovodi do relativno jednolike distribucije $\delta^{13}\text{C}$ (Slika 6.6-23). Tla koja nisu pod utjecajem obrade imaju viši $\delta^{13}\text{C}$ u dubljim horizontima tla (stari organski ugljik). Gornji horizonti tla imaju sličan $\delta^{13}\text{C}$ što ukazuje na sličan izvor organske tvari. Srednje vrijednosti površinskih horizonata neobrađivanih tala pokazuju generalno da $\delta^{13}\text{C}$ raste s dubinom. Djelomično objašnjenje za obogaćivanje ^{13}C porastom dubine posljedica je takozvanog je Suessovog efekta koji dovodi do postupnog smanjenja $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti atmosferskog CO_2 tijekom vremena (Keeling et al., 2017). Suessov učinak ukazuje da se izotopni sastav atmosferskog $\delta^{13}\text{C}$ smanjio za 2 ‰ tijekom proteklih 250 godina (Keeling et al., 2017). Varijacije u $\delta^{13}\text{C}$ koji opažamo u profilima šumskih tala, voćnjaka i vinograda mogu se stoga pripisati Suessovom efektu. Razlika između površinskih i dubljih dijelova profila u voćnjacima i vinogradima također pokazuje određeni stupanj miješanja starog i mlađeg ugljika (Slike 6.6-23 i 6.6-24).

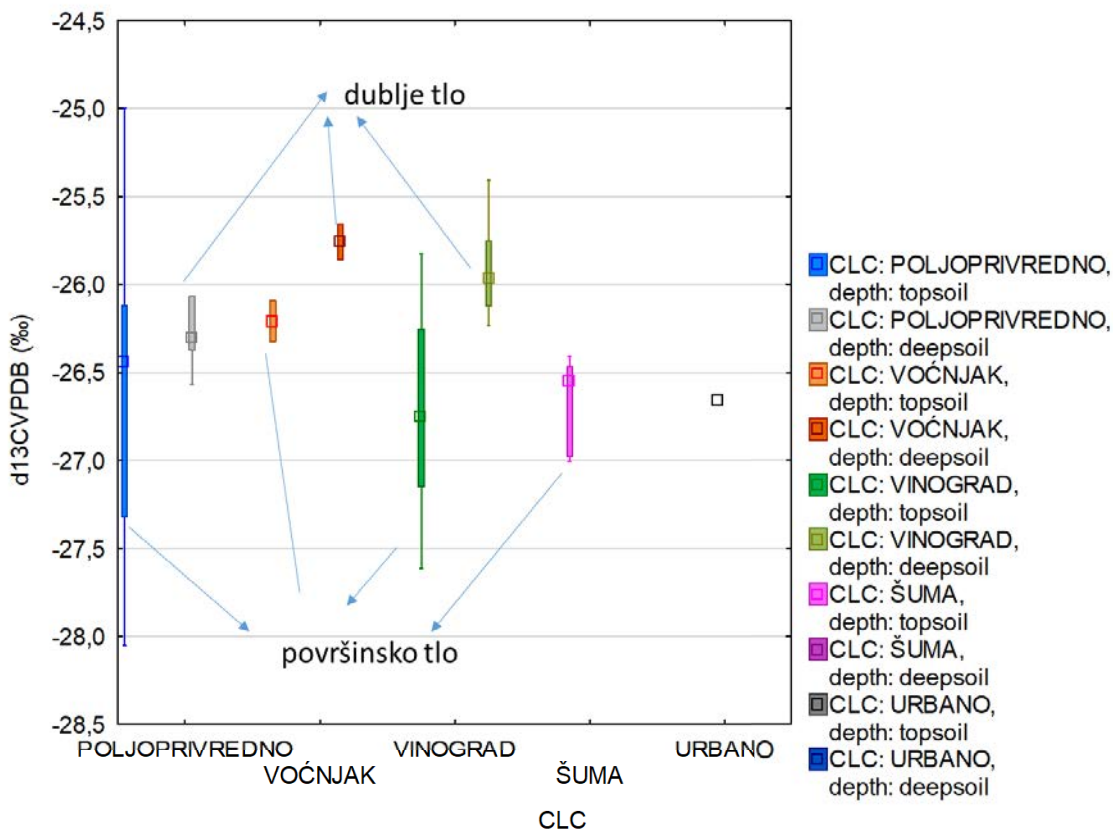
Dodatno objašnjenje za obogaćivanje $\delta^{13}\text{C}$ s dubinom uobičajeno opaženo u profilima tla može se pripisati mikrobiološkoj aktivnosti u tlu budući da je novo nastala biomasa općenito više obogaćena $\delta^{13}\text{C}$ nego njezin

izvorni supstrat. Novo nastala organska tvar u tlu stoga obično postaje obogaćenija s $\delta^{13}\text{C}$ zbog ugradnje mikrobne biomase ili mikrobiološki proizvedenog ugljika (Ehleringer et al., 2000). Istraživanja su pokazala da se SOC u dubljim slojevima tla u fazi razgradnje obogaćuje stabilnim SOC-om dobivenim mikrobnom aktivnošću (Domeignoz-Horta et al., 2021).

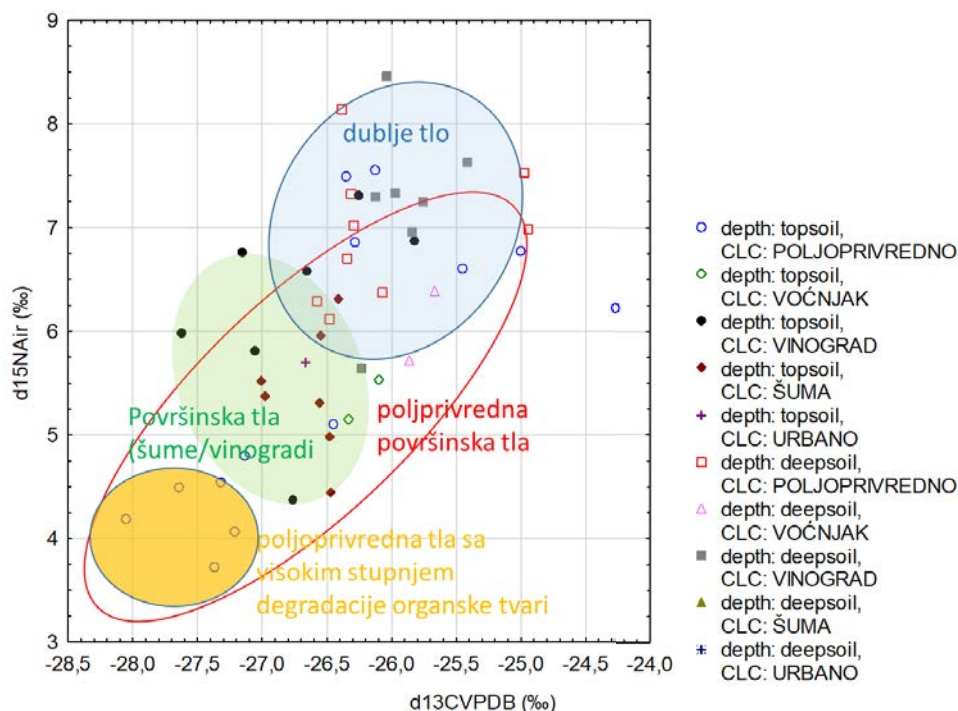
Neka poljoprivredna tla imaju karakteristične vrijednosti izmjerena u dubljim horizontima vinograda i šumskih tala (Slika 6.6-24). Duboka poljoprivredna tla imaju sličan izotopni sastav kao dublji horizonti u vinogradarskim tlima.



Slika 6.6-22. Distribucija izotopnog sastava dušika ($\delta^{15}\text{N}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u organskoj tvari u površinskim dijelovima profila tla (topsoil) i dubljim dijelovima profila (deepsoil).



Slika 6.6-23. Distribucija izotopnog sastava ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u organskoj tvari u površinskim dijelovima profila tla (topsoil) i dubljim dijelovima profila (deepsoil) u različitim kategorijama tla.



Slika 6.6-24. Odnos izotopnog sastava dušika ($\delta^{15}\text{N}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u organskoj tvari u površinskim dijelovima profila tla (topsoil) i dubljim dijelovima profila (deepsoil) u različitim kategorijama tla.

Kontinuirani unos novog C osigurava obilan SOC i snažno utječe na $\delta^{13}\text{C}$ u površinskom sloju tla, dok otporni stari C uglavnom određuje $\delta^{13}\text{C}$ u dubljim slojevima tla.

Na poljoprivrednom zemljištu zbog intenzivne obrade tla povećava se brzina razgradnje SOC-a, a miješanje starog i novog C dovodi do relativno jednolike vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$. Tla koja nisu pod utjecajem obrade imaju viši $\delta^{13}\text{C}$ u dubljim horizontima tla (stari SOC) kao posljedice Seussovog efekta.

Brža razgradnja SOC-a u poljoprivrednom zemljištu nego u površinskom sloju tla šuma i vinograda dovodi do nižih omjera C/N u poljoprivrednom zemljištu i smanjenja $\delta^{13}\text{C}$.

6.7. Procjena ranjivosti krških vodonosnika

Krški vodonosnici su zbog svojih specifičnih obilježja posebno osjetljivi na antropogene aktivnosti i potencijalna onečišćenja kao posljedica takvih djelovanja. Neka od najvažnijih obilježja koja imaju snažan utjecaj na kakvoću podzemne vode su pokrovne naslage koje su nejednoliko prisutne, mjestimično vrlo tanke ili potpuno izostaju, zatim mogućnost infiltracije kroz ponore te koncentriranja tokova unutar epikrške zone. Zbog toga štetne tvari mogu vrlo lagano dospjeti u podzemlje i transportirati se u kratkom vremenu na velike udaljenosti kroz pukotinsku mrežu okršanih kanala. Iz tog je razloga veliki naglasak suvremenih istraživanja krških vodonosnika stavljen na utvrđivanje razine ugroženosti i ranjivosti krških vodonosnika radi njihove zaštite i sanacije, ali i mogućnosti određivanja budućih aktivnosti, pogotovo prostornog planiranja.

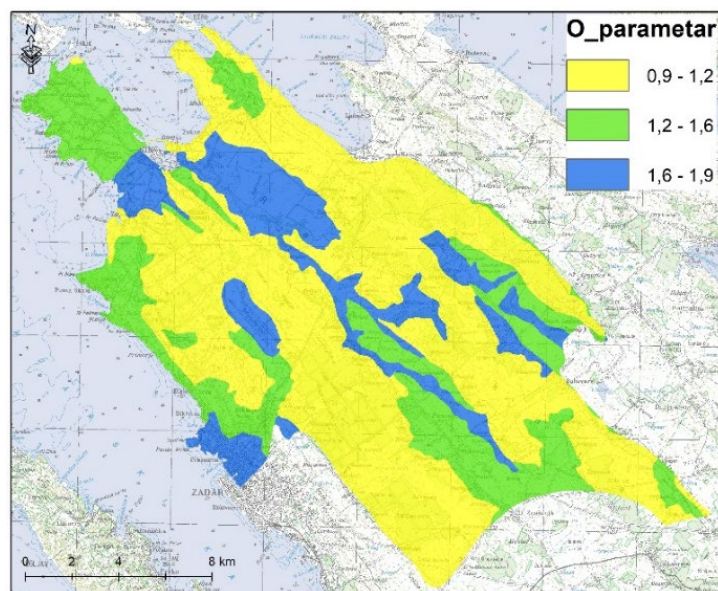
Pojam ranjivosti koristi se od sedamdesetih godina prošlog stoljeća (Margat, 1968), a danas je u svijetu razvijeno i koristi se veliki broj različitih metoda za procjenu kako prirodne tako i specifične ranjivosti. Temeljni koncept procjene ranjivosti polazi od pretpostavke da prirodna obilježja okoliša pružaju određenu zaštitu podzemnim vodama od antropogenih utjecaja koji mogu onečišćenjem zaprijetiti i nanijeti štetu njenoj kvaliteti. Kako bi se ocijenila ranjivost ili ugroženost nekog sustava, važno je imati pouzdane ulazne podatke, što znači da treba provesti istraživanja prirodnih fizičkih svojstava, hidrogeoloških odnosa, hidrogeokemijski, geokemijskih,

biokemijskih svojstava svih dijelova vodonosne cjeline. Kao rezultat takvih istraživanja kombinirani u primijenjenoj metodi procjene ranjivosti dobije se karta ranjivosti koja se kasnije koristi za zaštitu i upravljanje zalihama podzemnih voda na nekom području i kao podloga pri odlukama o korištenju, upravljanju ili namijeni prostora.

6.7.1. Pilot područje Bokanjac – Poličnik

Prirodna ranjivosti na pilot području Bokanjac – Poličnik procijenjena je korištenjem KAVA metode (Biondić et al., 2021). KAVA metoda je relativno mlada metoda procjene ranjivosti, razvijena i testirana na više lokacija u Republici Hrvatskoj u skladu sa specifičnim karakteristikama vodonosnih sustava u dinarskom tipu krša (Biondić et al., 2014, 2015, 2021). Zasniva se na konceptualnom modelu „izvor-put-cilj“, prema osnovnim smjernicama „Europskog pristupa“ (COST 620, 2004) što znači da je metodološki prilagođena primjeni za procjenu prirodne ranjivosti kako krških vodonosnika tako i izvorišta vode u kršu ili zdenaca namijenjenih za eksploataciju vode iz podzemlja. Konačna prostorna analiza i krajnji rezultat - karta ranjivosti izrađuju se pomoću GIS tehnologije. U ovom slučaju, razmatrana je situacija ranjivosti čitavog vodonosnika na području sliva Bokanjac – Poličnik, neovisno o pojedinačnim eksploatacijskim objektima.

U primijenjenoj KAVA metodi korištena su četiri temeljna parametra kako bi se procijenila prirodna ranjivost, a to su: pokrovne naslage (O parametar), utjecaj infiltracije (I parametar), utjecaj hidrogeoloških karakteristika vodonosnika (A parametar) te utjecaj oborina (P parametar). Važno je napomenuti da je procijenjen samo dio parametra A koji opisuje statičke uvjete unutar vodonosnika (za procjenu ranjivosti izvorišta koristi se i opis dinamičkih uvjeta toka vode u vodonosniku) (Biondić et al., 2021). Konačni izračun indeksa ranjivosti vodonosnika dobiva se tako da se rezultati izračuna svakog pojedinog parametra (O, I, A) prostornom analizom zbrajaju i taj zbroj se zatim množi procijenjenom vrijednosti P parametra koji predstavlja vanjski stres. Vrijednosti indeksa ranjivosti vodonosnika razvrstavaju se u šest klasa ranjivosti u rasponu od vrlo niske do ekstremno visoke ranjivosti te prikazuju različitim bojama na karti prirodne ranjivosti područja.

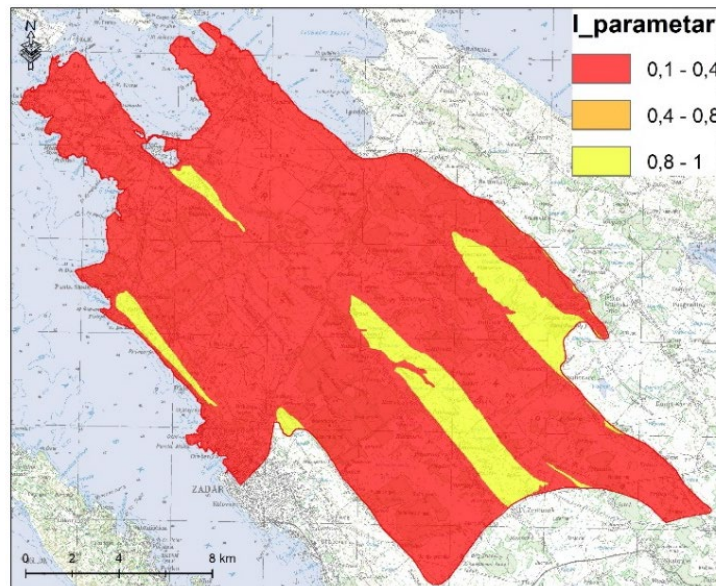


Slika 6.7-1. Parametar O određen za sliv Bokanjac - Poličnik

Parametar O je određen na osnovi podfaktora O_s kojim se definira utjecaj tla te podfaktora O_{kf} koji opisuje značajke epikrške zone vodonosnika. Za određivanje vrijednosti podfaktora O_s korišteni su podaci o teksturi tla i debljine tla preuzeti iz Hidropedološke karte Republike Hrvatske, mjerila 1:300.000 (Vidaček et al., 2004). Podfaktor O_{kf} je procijenjen na temelju pojave vrtača kao glavnog reljefnog obilježja koji ukazuje na stupanj okršenosti nekog prostora, postojanje epikrške zone i izrazito ranjive dijelove terena. Vrtalice su najprije digitalizirane sa topografske karte mjerila 1: 25.000 te je zatim prostornom analizom izračunata gustoća vrtača

po kvadratnom kilometru slivnog područja. Kombinacijom oba podfaktora dobivena je karta O parametra prikazana na slici 6.7-1. Vrijednosti parametra O kreću se u rasponu od 0,9 do 1,9 bodova što sukladno KAVA metodi definira 3 klase te područje sliva „Bokanjac – Poličnik“ prekriva slabo do umjereno razvijeno tlo uz slabo do umjereno razvijenu epikršku zonu pa pokrovne naslage predstavljaju određenu zaštitu vodonosniku.

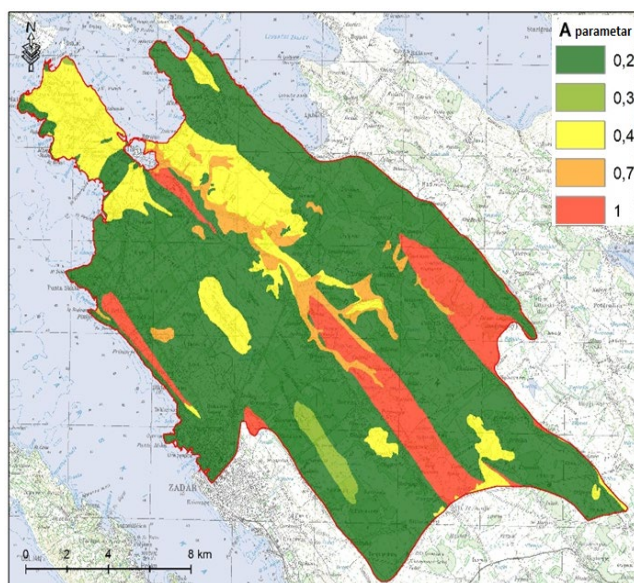
Parametar I koji predstavlja utjecaj infiltracije vode s površine terena u dublje dijelove vodonosnika dobiven je na temelju procjene dva podfaktora: I_{sv} (koji opisuje utjecaj nagiba terena i vegetacije) te I_{gwd} (utjecaj dubine do podzemne vode). Prvi dio analize I parametra je određivanje površinskih uvjeta infiltracije, tj. procjeni radi li se o koncentriranoj infiltraciji kroz ponore ili pak difuznoj infiltraciji po površini). Čitavo područje sliva promatra se kao područje koji nije direktno povezano sa ponorima, rijekama ponornicama i ponornim zonama. Kako bi se odredio utjecaj vegetacije na ranjivost vodonosnika korišteni su podaci o upotrebi zemljišta *CorineLand Cover 2012* iz digitalne baze podataka. Vegetacija ima veliki utjecaj kod površinskog otjecanja i uvjeta infiltracije. Više vegetacije znači i veća infiltracija, dok manje vegetacije znači više površinskog otjecanja. Na karti pokrova izdvojeno je 17 klasa CLC kartografskih jedinica, koje su razvrstane u dvije kategorije - gusta i rijetka vegetacija te bodovane sukladno zahtjevima KAVA metode.



Slika 6.7-2. Parametar I određen za sliv Bokanjac - Poličnik

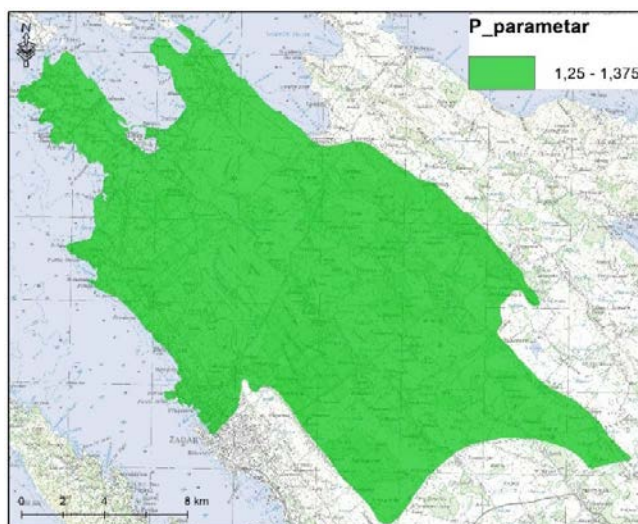
Nagib terena dobiven je prostornim analizama pomoću GIS tehnologije preko digitaliziranih kota s topografske karte mjerila 1: 25.000 najprije izradom digitalnog modela terena, a zatim izradom karte nagiba površina. Za I_{gwd} podfaktor bilo je potrebno odrediti razinu podzemnih voda, zbog određivanja debljine nesaturirane zone. Krš je vrlo kompleksno područje te je zbog malog broja mjerenih podataka, nepredvidivosti podzemnih tokova i akumulacija komplicirano odrediti točnu razinu podzemnih voda. Ipak, gradijent podzemne vode izrađen je aproksimacijama iz rezultata do sada provedenih hidrogeoloških istraživanja, konkretno mjerene razine na nekoliko lokacije unutar slivnog područja te su ekstrapolirane na područje čitavog vodnog tijela. Zbrajanjem oba podfaktora dobiven je prostorni raspored I parametra prikazan na slici 6.7-2. Vrijednosti I parametra kreću se u rasponu od 0,1 – 1, odnosno sukladno KAVA metodi svrstane su u 3 klase koje ukazuju da je utjecaj infiltracije s površine terena nepovoljan za ranjivost ovog područja.

Parametar A koji opisuje hidrogeološka obilježja saturiranog dijela vodonosnika ovisi o hidrogeološkim karakteristikama stijena u kojima se nalazi. Da bi se dobio hidrogeološki opis slivnog područja korišteni su podaci litoloških jedinica u građi terena istraženi i opisani u ranijim istraživanjima ovog područja. Parametar A koji je u ovom slučaju isključivo ovisan o statičkim uvjetima u vodonosniku ukazuje na različite ranjivosti pojedinih hidrogeoloških formacija i njegov prostorni raspored prikazan je na slici 6.7-3.



Slika 6.7-3. Parametar A određen za sliv Bokanjac - Poličnik

Da bi se procijenio parametar P, korišteni su podaci o efektivnoj količini oborina (P_e) i intenzitetu oborina (P_i). Efektivne količine oborina preuzete su iz Klimatskog atlasa Hrvatske (Zaninović et al., 2008), a podaci o broju kišnih dana za područje Zadra za razdoblje 1961.-2019. godine preuzeti su s web stranice DHMZ-a (https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci¶m=k1&Grad=zadar). Kombinacijom karte godišnjih oborina Republike Hrvatske i broja kišnih dana dobivaju se vrijednosti parametara koji opisuju utjecaj oborina. Intenzitet oborina je za cijelo područje isti, dok je efektivna količina oborina nešto veća u višim dijelovima slivnog područja. Međutim, vrijednosti parametra P kreću se u rasponu od 1,25 do 1,375 boda, što prema uputama KAVA metode ulazi unutar jedne klase utjecaja (slika 6.7-4). Iz P karte vidljivo je da je utjecaj oborina nizak na čitavom pilot području.

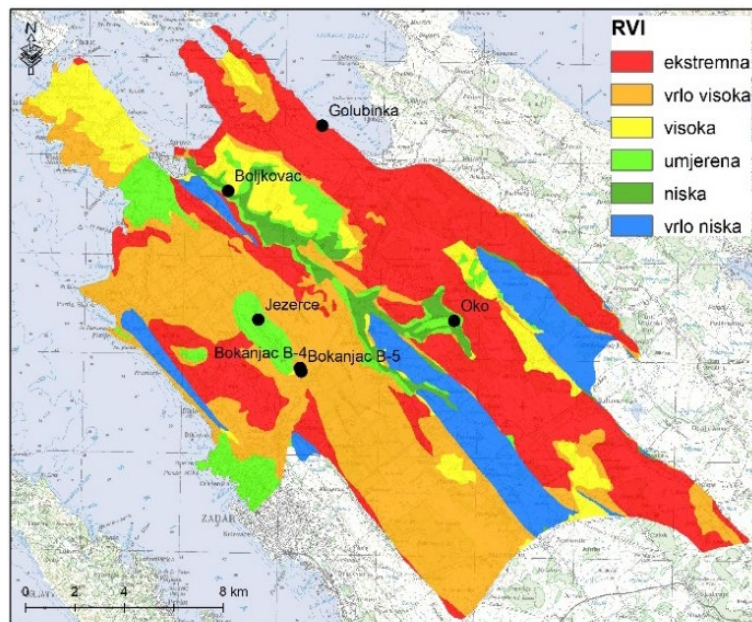


Slika 6.7-4. Parametar P određen za sliv Bokanjac - Poličnik

Konačna karta prirodne ranjivosti dobije se zbrajanjem O, I i A parametara te množenjem zbroja sa parametrom P koji, za razliku od ostalih parametara koji su prirodna obilježja vodonosne sredine, u KAVA metodi predstavlja vanjski stres (RVI - eng. *resource vulnerability index*).

$$RVI = (O \text{ parametar} + I \text{ parametar} + A \text{ parametar}) \cdot P \text{ parametar}$$

Dobiveni raster vrijednost RVI reklasificira se u 6 klasa unaprijed određenih raspona te se svakoj klasi sukladno ocjeni ranjivosti dodjeljuje pripadajuća boja, kao što je prikazano na slici 6.7-5.



Slika 6.7-5. Karta ranjivosti vodonosnika.

Iz dobivene karte ranjivosti se vidi da je veći dio vodonosnika Bokanjac – Poličnik visoko do ekstremno ranjiv i to upravo dijelovi vodonosnika građeni od vapnenaca visoke propusnosti. Dijelovi vrlo niske ranjivosti su flišna područja. Budući da se flišne naslage smatraju gotovo nepropusnima, razumljivo je da je i ranjivost takvih dijelova minimalna. Dijelovima dobro vodopropusnih vapnenaca koji su prekriveni naslagama tla veće debljine smanjila se ranjivost u klasu umjerene ranjivosti, što je potvrdilo pretpostavku da tlo može zadržati onečišćenje prije prodora do podzemne vode. Također, na konačnoj karti ranjivosti vidljivo je da su područja prekrivena gušćom vegetacijom manje ranjiva od područja bez vegetacije.

6.7.2. Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli

Za izradu karte prirodne ranjivosti izvora i karte prirodne ranjivosti vodnih resursa Blatskog polja na otoku Korčuli korišten je takozvani „Slovenski pristup“ kojeg su upravo za procjenu specifične ranjivosti krških vodonosnika osmislili i predložili [Ravbar & Goldscheider \(2007\)](#). Slovenski pristup dijelom se temelji na ranije razvijenoj COP metodi ([Vias et al., 2006](#); [Andreo et al., 2006](#)) koja predstavlja integralni Europski pristup procjeni prirodne ranjivosti vodonosnika. Karta prirodne ranjivosti vodnih resursa dobivena je preklapanjem karti odnosno množenjem O (engl. overlaying layers), C (engl. concentration of flow) i P faktora (engl. precipitation regime). Karta prirodne ranjivosti izvora dobivena je preklapanjem odnosno zbrajanjem karte prirodne ranjivosti vodnih resursa slijeva Blato na Korčuli i karte K faktora (engl. karst saturated zone).

Za dobivanje karte O faktora (krovinske naslage) kao ulazni podaci korišteni su debljina, tekstura i struktura pedoloških jedinica te tip i debljina litoloških jedinica s pripadajućih pedoloških i hidrogeoloških karti. Također, u analizu je uzet u obzir i tip vodonosnika (otvoreni/zatvoreni).

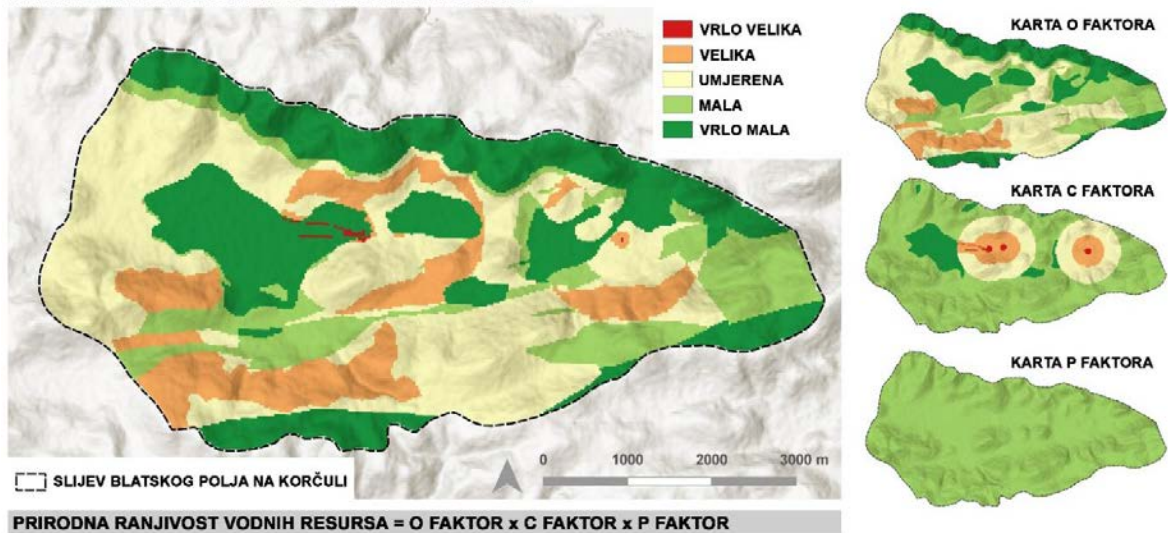
Na karti C faktora (koncentracija toka) izdvajaju se područja drugačijih uvjeta infiltracije odnosno utjecajna područja ponora od ostatka slijeva. Karta utjecajnih područja ponora dobivena je množenjem karte udaljenosti od ponora dh (engl. distance to swallowholes), karte udaljenosti od ponirućih vodotoka ds (engl. distance to sinking streams) i karte nagiba terena i površinskog pokrova sv (engl. slope and vegetation). Karta nagiba dobivena iz digitalnog modela reljefa, dok je za površinski pokrov korištena karta gustoće pokrova drveća iz ENVI atlasa okoliša. Nadalje, u analizu je uključena i komponenta vremenske varijabilnosti odnosno aktivnosti ponirućih tijela tv (engl. temporal variability). Karta ostalog dijela slijeva dobivena je množenjem karte površinskih morfoloških karakteristika sf (engl. surface morphological features) s kartom nagiba terena i površinskog pokrova sv.

Karta režima oborina P uključuje intenzitet i količinu dnevnih oborina u period od najmanje 30 god. Za odabrano slijevno područje korišteni su 30-godišnjih (1981.-2010.) podaci postaje Vela Luka odnosno broja dana s količinom oborine iznad 20 mm ustupljeni od strane DHMZ-a.

Karta saturirane krške zone K korištena je pri procjeni prirodne ranjivosti krških izvora budući da ona prikazuje analizu lateralne komponente toka podzemne vode, a uzima u obzir tri podfaktora: vrijeme tečenja podzemne vode u saturiranoj zoni t (engl. groundwater travel time), stupanj okršenosti n (engl. information on karst network) te povezanost i doprinos pojedinih dijelova vodonosnika r (engl. connection and contribution).

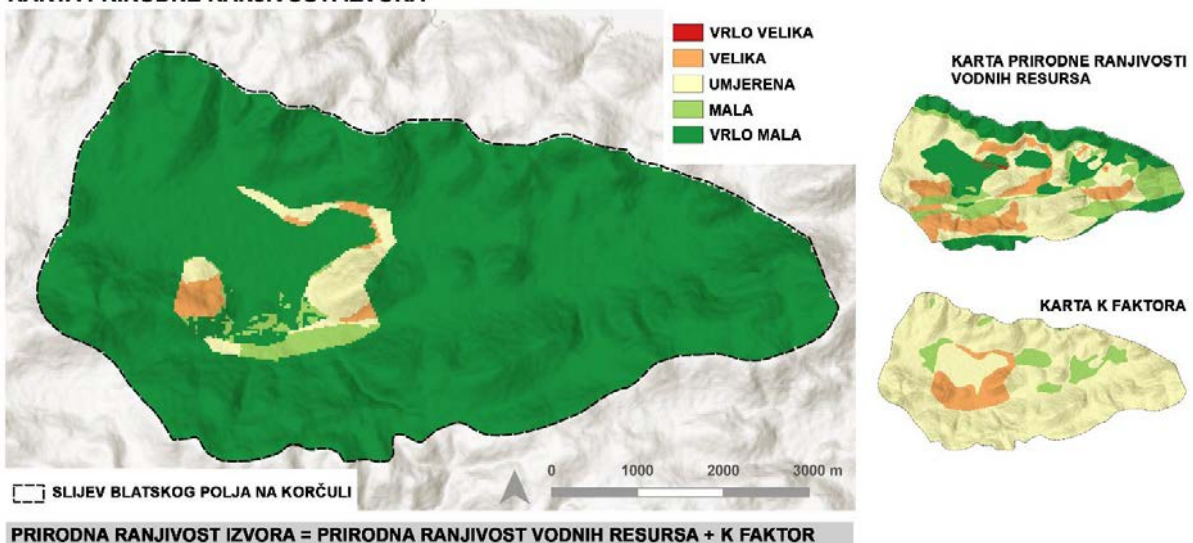
Na slici 6.7-6. prikazana je karta prirodne ranjivosti vodnih resursa slijeva Blatskog polja na otoku Korčuli, a koja ukazuje na vrlo veliku ranjivost u području ponora i kanala kroz Blatsko polje te veliku ranjivost okršenih i dobro propusnih stijenskih masa poglavito u utjecajnom području ponora. Najmanja prirodna ranjivost procijenjena je u krškim poljima prekrivenim kvartarnim tлом značajnije debljine (u prosjeku 3-4 m u Blatskom polju), te u predjelima slabije propusnih stijenskih masa.

KARTA PRIRODNE RANJIVOSTI VODNIH RESURSA



Slika 6.7-6. Karta prirodne ranjivosti vodnih resursa slijeva Blatskog polja na otoku Korčuli

KARTA PRIRODNE RANJIVOSTI IZVORA



Slika 6.7-7. Karta prirodne ranjivosti izvora slijeva Blatskog polja na otoku Korčuli

Na karti prirodne ranjivosti izvora (Slika 6.7-7) prevladava kategorija vrlo niske ranjivosti (tamno zelena boja), dok je umjerena ranjivost (žuta boja) i velika ranjivost (narančasta boja) utvrđena na obodnim dijelovima Blatskog polja unutar proglašene 2. zone sanitarne zaštite izvorišta. Posebno ističemo područja velike ranjivosti utvrđena u neposrednoj blizini zdenaca Prbako i Gugić korištenih u vodoopskrbi. To su ujedno i područja na kojima je trasiranjem utvrđena pojava trasera (Studenac prividna brzina 1,4 cm/s i Gugić prividna brzina 0,32 cm/s) ubačenog na lokaciji Rača Ploča.

7. MJERE PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA ZA RAZLIČITE SEKTORE

Strategija prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. godine s pogledom do 2070. godine (NN 46/20) uključujući i akcijski plan, definiraju prioritetne mjere i aktivnosti za najranjivije sektore, kao što su hidrologija i vodni resursi, poljoprivreda, šumarstvo, bioraznolikost i prirodni ekosustavi, upravljanje obalnim područjem, turizam i ljudsko zdravlje. Teme klimatskih promjena integriraju se u ostale sektorske razvojne planove i strateške dokumente. Također, uz intervencije na nacionalnoj razini, osobito je važno djelovati upravo na regionalnoj i lokalnoj razini gdje je i utjecaj klimatskih promjena najvidljiviji.

Prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/20) pristup određivanju sektorskih i međusektorskih mjera prilagodbe klimatskim promjenama temelji se na nekoliko načela:

- Znanstveno utemeljen pristup
- Komplementarnost prilagodbe i umanjenja učinaka klimatskih promjena
- Načelo predostrožnosti
- Načelo prilagodljivosti
- Načelo održivosti
- Uključivanje dionika u postupak dogovaranja i odlučivanja
- Integracija prilagodbe u sektorske politike

Na temelju tih općih načela, projektom UKV je utvrđen skup mjera za sektore vodnoga gospodarstva, zdravstva, turizma i poljoprivrede temeljem istraživanja provedenih na tri pilot područja.

7.1. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor vodnog gospodarstva

Klimatske promjene utječu na sektor vodnoga gospodarstva, odnosno na upravljanje vodama, na više načina. Promjene temperature, količina i intenziteta oborina, kao i produljenje ljetnih sušnih razdoblja znatno utječu na sektor vodnog gospodarstva, pogotovo na područjima priobalnih i otočnih vodonosnika. Dolazi do pojava dugotrajnih suša ili ekstremnih poplava, smanjenih dotoka u priobalnim i otočkim vodonosnicima, smanjene infiltracije, češće pojave zaslanjenja priobalnih i otočkih vodonosnika, što rezultira smanjenim količinama dostupne vode za potrebe javne vodoopskrbe. Povećava se i temperatura voda što utječe na ekosustave ovisne o vodama, smanjenu prihvatnu moć tereta onečišćenja kao i ograničenje mogućnosti korištenja voda. Na svaki od tih elemenata vodnoga gospodarstva klimatske promjene znatno utječu i tijekom vremena se sve više osjećaju u svakodnevnom životu. Jedno od najranjivijih područja su priobalni i otočni vodonosnici na kojima se te promjene vrlo brzo osjećaju zbog iznimno labilne ravnoteže slatkovodnog i zaslanjenog sustava i odnosa prema promjenama razina mora. Svaka od promjena koje se dešavaju (smanjeni dotoci, promjena količina oborina, porast razine mora, povećanje temperature voda) mogu dovesti do vrlo velikih negativnih efekata na mogućnost korištenja priobalnih i otočkih vodonosnika za potrebe javne vodoopskrbe i navodnjavanja.

Prema Strategiji EU za prilagodbu klimatskim promjenama (EK, 2021) jedan od važnih sektora u kojima je potrebno hitno uspostaviti prilagodbu je sektor vodoopskrbe i vodnoga gospodarstva. Strategijom se ističe potreba osiguravanja dostupnosti i održivosti slatke vode. Za to je potrebno očuvati dostupnost slatke vode jer je voda temelj mnogih gospodarskih sektora, a pristup vodi je osnovna ljudska potreba. Također, ističe se i nužnost smanjenja upotrebe vode kroz poboljšanje učinkovitosti potrošnje i ponovne upotrebe vode. Treća mjera koja se ističe je očuvanje kvalitete vode koju klimatske promjene mogu ugroziti, jer je najvažnija stabilna javna vodoopskrba, koja mora biti zajamčena.

Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/20) predlaže mjere prilagodbe klimatskim promjenama:

- Provedba nestrukturnih mjera zaštite od štetnog djelovanja voda i zaštite voda pri pojavama ekstremnih hidroloških prilika čije je povećanje intenziteta i učestalosti pojave uvjetovano klimatskim promjenama;
- Podrška planiranju, izgradnji, rekonstrukciji i dogradnji sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda i s njima povezanih drugih hidrotehničkih sustava (strukturne mjere) i kontrolirano plavljenih nizinskih prirodnih poplavnih područja kao i ostalih mjera za zaštitu voda uz prioritetnu primjenu pristupa davanja prostora rijekama i korištenja prirodnih retencija;
- Jačanje stručnih, istraživačkih i upravljačkih kapaciteta za ocjenu pojavnosti i rizika negativnih utjecaja klimatskih promjena i prilagodbu slatkovodnih i morskih vodnih sustava u postojećim i budućim klimatskim prilikama;
- Jačanje kapaciteta nadležnih institucija za djelovanje pri pojavama ekstremnih hidroloških prilika;
- Smanjenje štetnih posljedica na obalnu vodno-komunalnu infrastrukturu i priobalne vodne resurse uzrokovane podizanjem razine mora zbog klimatskih promjena (nestrukturane mjere);
- Jačanje otpornosti urbanih područja na antropogene pritiske uvjetovane klimatskim promjenama;
- Jačanje kapaciteta za istraživanje i održivo upravljanje podzemnim vodama;
- Jačanje otpornosti obalne vodnokomunalne infrastrukture i priobalnih vodnih resursa (strukturne mjere);
- Jačanje stručnih, istraživačkih i upravljačkih kapaciteta zaštite posebno vrijednih akvatičkih ekosustava;
- Mapiranje izvora vode izvan sustava javne vodoopskrbe.

Pokazatelji učinka provedenih mjera prilagodbe su prema Strategiji (NN 46/20) za sektor vodnog gospodarstva sljedeći:

- broj stanovnika na području za koje je proglašeno stanje elementarne nepogode pojave ekstremne suše;
- broj područja određenih za zaštitu od poplava kao mjere predostrožnosti;
- broj razvijenih i testiranih alata;
- broj stručnjaka koji su prošli tečajeve o prilagodbi;
- broj stanovnika na području za koje je proglašeno stanje elementarne nepogode pojavom poplave;
- broj područja s padajućom kakvoćom vode za piće;
- postotak površine posebno vrijednih akvatičkih ekosustava koji su ugroženi posljedicama klimatskih promjena;
- ukupna dužina mreže otpadnih i oborinskih voda ugroženih od klimatskih rizika u obalnom području;
- srednji vodostaji i protoci na postajama državne mreže;
- ekstremni vodostaji i protoci na postajama državne mreže;
- srednje razine mora;
- ekstremne razine mora.

Projektom UKV provedena su istraživanja na tri pilot područja različitih hidrogeoloških karakteristika s ciljem da se rezultati istraživanja i mjere prilagodbe klimatskim promjenama mogu primijeniti i na druge priobalne i otočke vodonosnike Dinarskog krša.

Pilot područje Bokanjac – Poličnik je specifični priobalni vodonosnik na kojem u priobalnoj zoni povremeno dolazi do prodora zaslanjenja i na pojedinim se crpilištima zbog toga pojavljuju problemi korištenja za potrebe javne vodoopskrbe tijekom dugih sušnih razdoblja. Izvor Golubinka se potpuno isključuje iz sustava vodoopskrbe tijekom sušnih razdoblja jer tada zaslanjuje u potpuno prirodnim uvjetima (bez utjecaja crpljenja), vodocrpilište Boljkovac se crpi tijekom ljetnih sušnih razdoblja, ali povremeno zaslanjuje nakon oborina velikih intenziteta krajem dugih sušnih razdoblja, vodocrpilište Jezerce ima ograničenu količinu crpljenja jer precrpeljivanjem dolazi do povišenja saliniteta, dok na vodocrpilištu Bokanjac tijekom razdoblja trajanja projekta nisu izmjereni problemi sa zaslanjenjem iako postoje neki povijesni zapisi.

Na pilot području Bokanjac – Poličnik u razdoblju od 2016. do 2019. godine proveden je monitoring podzemnih voda i izvedene su piezometarske bušotine korištene za potrebe uspostave monitoringa vodonosnika po dubini u sklopu projekta UKV. Te piezometarske bušotine mogu koristiti i u budućem monitoringu vodonosnika po dubini uz postavljanje automatskog sustava povezanog sa vodocrpilištima i sustavom crpki.

Studijom (Biondić et al., 2019) predložene su četiri ključne mjere kojima se postiže bolje funkcioniranje vodoopskrbnog sustava u uvjetima klimatskih promjena. To su:

- Edukacija stanovništva za racionalnijim korištenjem voda
 - Preventivna mjera koja samo dugoročno može dati rezultate. Odnosi se na korištenje uređaja za domaćinstvo koji trebaju manje količine vode i korištenje sustava navodnjavanja koji koriste manje količine vode. Takvi uređaji i sustavi obično su znatno skuplji od onih koji su u prosječnoj svakodnevnoj upotrebi. Razlika u cijeni se može prevenirati poticajima za kupnju takvih uređaja i sustava. Također, edukaciju stanovništva je potrebno usmjeriti i na mogućnost ponovnog korištenja voda kao što je npr. mogućnost ponovnog korištenja pročišćene otpadne vode za zalijevanje zelenih površina.
- Smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu čime se smanjuje količina crpljenja za zadovoljenje potreba za vodom stanovništva i gospodarstva
 - Uobičajeni gubici u vodoopskrbnim sustavima u Hrvatskoj iznose 30 do 50 % ukupno iscrpljene podzemne vode. Gubici iz vodoopskrbnih sustava uzrokuju da je za zadovoljenje istih potreba za vodom potrebno crpiti 30 do 50 % više podzemne vode. Pogotovo je to osjetljivo tijekom ljetnih sušnih razdoblja kada to prekomjerno crpljenje može narušiti i tako labilnu ravnotežu slatke i slane vode u krškom vodonosniku i uzrokovati zaslanjenje dijela vodonosnika. Smanjenje gubitaka je također dugoročna mjera koja zahtijeva velika financijska sredstva, ali neminovna ukoliko se želi racionalno gospodariti s raspoloživim zalihama vode, pogotovo u uvjetima klimatskih promjena i očekivanih daljnjih intenziviranja dugotrajnijih i naglašenijih sušnih prilika.
- Ograničenje crpljenja podzemnih voda za potrebe navodnjavanja tijekom ljetnih sušnih razdoblja
 - Ograničenje korištenja podzemne vode za potrebe navodnjavanja tijekom ljetnih sušnih razdoblja je mjera koju s trenutnim stupnjem korištenja podzemnih voda za potrebe navodnjavanja nije potrebno provoditi, ali analizom korištenja zemljišta u okolici Bokanjačkog blata ukazuje se da bi u bližoj budućnosti takva mjera mogla biti vrlo značajna. To ne znači potpuno zabranjivanje korištenja za potrebe navodnjavanja već racionalno korištenje i odabir kultura koje ne zahtijevaju prevelike količine vode za navodnjavanje tijekom ljetnih mjeseci, kao i preraspodjelom korištenja voda za navodnjavanje na način da se podzemne vode zahvaćaju i akumuliraju u vodnom dijelu godine, kako bi ih se moglo koristiti u vrijeme sušnih razdoblja kad su razine i dotoci podzemnih voda smanjeni. Racionalno korištenje se odnosi na pravilan odabir načina navodnjavanja kojim će se uz postizanje istog efekta trošiti manje količine vode (navodnjavanje kap na kap i sl.).
- Postavljanje kvalitetnog sustava upravljanja vodoopskrbnim sustavom s aktivnim procesuiranjem informacija o stanju hidroloških prilika i kakvoće vode u slivu i podzemnom dijelu vodonosnika.
 - To uključuje postavljanje sustava monitoringa podzemnih voda s prikazom stanja u stvarnom vremenu kako bi se omogućilo pravovremeno djelovanje i smanjilo rizike od zaslanjenja vodoopskrbnih objekata i dijelova vodonosnika. U takav sustav monitoringa trebalo bi uključiti mjerenje električne vodljivosti, temperature vode i razine podzemne vode na vodoopskrbnim zdencima i prikaz rezultata tih mjerenja u stvarnom vremenu na zaslonima računala u kontrolnoj sobi na vodocrpilištu. Također, sustav je potrebno proširiti i na piezometarske bušotine izvedene uz zdence B-4, Jezerce i Boljkovac kako bi se moglo detektirati potencijalno konusno podizanje zaslanjenje vode iz dubokih dijelova krškog vodonosnika prema zdencima vodocrpilišta. Uz to, takav bi sustav trebao ne samo aktivno pratiti i procesuirati informacije o stanju hidroloških prilika i kakvoće vode u slivu i podzemnom dijelu vodonosnika, nego ih koristiti i za prognozu stanja za

predstojeća sezonska razdoblja, kako bi se optimizirao režim zahvaćanja i korištenja voda, te na vrijeme pripremlilo i preveniralo moguće nastupanje kritičnih hidroloških prilika s mogućim povećanim zaslanjenjima voda na vodozahvatima. Dio tog sustava je potrebno i automatizirati i povezati sa samim crpkama kako bi se izbjegao ljudski faktor. To uključuje postavljanje automatskih mjerača električne vodljivosti u zdence vodocrpilišta s mogućnosti automatskog prigušenja ili zaustavljanja crpljenja uslijed povišenja vrijednosti električne vodljivosti kao i postavljanje automatskih mjerača električne vodljivosti u piezometarske bušotine na različitim dubinama s mogućnosti automatskog prigušenja ili zaustavljanja crpljenja uslijed povišenja vrijednosti električne vodljivosti kako bi se spriječilo zaslanjenje vodoopskrbnog zdenca ili smanjio utjecaj zaslanjenja na normalno funkcioniranje vodoopskrbe. Takav sustav operativnog upravljanja podrazumijeva i izradu matematičkih hidroloških modela međuodnosa stanja u slivu (oborina, temperatura, protoka i razina podzemnih voda na odabranim lokalitetima) i stanja hidroloških prilika i kakvoće vode/sadržaja klorida na vodozahvatima.

Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu je priobalni vodonosnik, specifičan i po svom otočkom položaju i po tome što je sastavni dio vodonosnika i jezerska kriptodepresija s volumenom od čak blizu 220 mil. m³. Jezero se koristi za vodoopskrbu otoka Cresa i Lošinja i za sada nema problema s prekomjernom zaslanjenošću. No zbog rasta potreba za vodom kao i izraženih trendova snižavanja razine vode u jezeru, dugoročno postoji rizik od narušavanja njegove dinamičke ravnoteže s morem i intenzivnijih prodora zaslanjene morske vode dublje u priobalni vodonosnik pa i u samo jezero. To bi moglo onemogućiti dosadašnji način neposrednog korištenja vode iz Vranskog jezera za vodoopskrbu. Zapažen je i izraziti trend porasta temperature vode jezera što u budućnosti također može izazvati probleme s sukcesijama u njegovom jezerskom ekosustavu.

Kako bi se na vrijeme prepoznale moguće promjene stanja hidroloških prilika u podzemlju, na rubnim dijelovima vodonosnika, na pilot području Vransko jezero su krajem 2021. godine izvedene prve dvije duboke 200-metarske piezometarske bušotine s kontinuiranim praćenjima temperature voda i električne vodljivosti na dvama dubinama – do 10 m ispod razine mora te pri dnu bušotine 60-80-tak m ispod razine mora. Te bušotine, uz redovni monitoring, kao i dopunski monitoring uspostavljen u okviru UKV projekta, predstavljaju osnovu budućeg cjelovitog redovnog monitoringa usmjerenog na praćenju stanja u jezeru i njegovom vodonosniku i upravljanje korištenjem i zaštitom voda iz Vranskog jezera.

U završnom dokumentu vezanom uz spomenuto unaprjeđenje monitoringa ([GEO-5 & GF Rijeka, 2022](#)) između ostalog zaključeno je i da rezultati dosadašnjeg monitoringa svih raspoloživih elemenata pokazuju da Vransko jezero sa svojim područjem sliva, koje je slabo naseljeno i bez većih antropogenih aktivnosti, predstavlja jedan vrijedan ekološki sustav koji za sada nije jače ugrožen promjenama koje bi mogle negativno utjecati na kakvoću vode u jezeru koja se koristi i za vodoopskrbu. No, porastom antropogenih pritisaka i utjecaja klimatskih promjena, to se stanje može promijeniti pa je zbog toga nužno dograđivati monitoring te interdisciplinarno analizirati njegove rezultate. Ocijenjeno je i da je nužno unaprijediti sustav monitoringa proširenjem mjernih postaja, prije svega uspostavom još dvaju dubokih piezometara s istočne i jugoistočne strane jezera. Njihova svrha je osiguranje informacija o nultom stanju u podzemlju, kao i u svrhu indikacije eventualnih povećanih prodora mora u krški vodonosnik koji okružuje jezero kako bi upravljačkim mjerama smanjio rizik od zaslanjivanja i samog jezera. Uz to, predloženi piezometri imaju i svrhu optimalizacije položaja odvoda oborinskih voda nakon protjecanja i tretmana kroz postojeće separatore.

No, uz unaprjeđenje monitoringa nužno je provođenje još nekoliko ključnih mjera u cilju primjerenog funkcioniranje vodoopskrbnog sustava u uvjetima klimatskih promjena. To su, slično kao i što je navedeno uz ostala pilot područja edukacija stanovništva za racionalnijim korištenjem voda i njenim višekratnim korištenjem, daljnjim smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu, daljnjeg unaprjeđenja upravljanja vodoopskrbnim sustavom s aktivnim procesuiranjem informacija o stanju hidroloških prilika i kakvoće vode u slivu i podzemnom

dijelu vodonosnika, te ograničenje korištenja zahvaćenih količina vode iz Vranskog jezera za ne vodoopskrbne svrhe (navodnjavanja poljoprivrednih površina, golf igrališta i slično).

Uz to, korisno bi bilo poticati i neke dodatne mjere:

- Poticanje korištenja alternativnih izvora voda, prije svega kišnice. Za to postoje brojni pogodni načini. Jedan od najzastupljenijih mogli bi biti financijski poticaji za gradnju vodospremišta/gusterni na individualnim stambenim ili pak poslovnim objektima. Njihova funkcija nije samo u smanjenju korištenja vode iz javnog vodoopskrbnog sustava zadovoljavanjem dijela potreba za vodom iz takvih individualnih sustava, nego i kontrola/smanjenje vršnih otjecanja pri pojavama intenzivnih oborina. S druge strane dodatni poticaj izgradnji vodospremišta mogao bi biti uvođenje naknade na ispuštanje oborinskih voda s individualnih okućnica, krovnih površina i slično na urbane javne površine i u sustave odvodnje oborinskih voda.

Takva vodospremišta bi se mogla graditi i vezano uz poljoprivredne površine, s većim volumenima i sezonskim izravnanjem dotoka i potreba za vodom, prije svega uz veoma zastupljene maslinike. Pri tome je nužno poticati i izgradnja odgovarajućih nakapnih ploha.

Obnova i izgradnja otočkih lokvi kao tradicionalnih graditeljski objekata za potrebe osiguranje vode za ovčarstvo, a koje bi pridonijele i zaštiti od požara i osiguranju vode za otočne ekosustave.

- Izgradnja sustava za korištenje voda zahvaćenih u zatvorenom sustavu odvodnje oborinskih voda dijela otočke prometnice D100 na dionici uz Vransko jezero. Radi se o dionici duljine blizu 12 km, s trima separatorima nakon kojih se tako dijelom očišćena voda (izdvojena samo ulja i masti) neposredno upušta u podzemlje. Dogradnjom takvih sustava u vidu umjetnih močvara/laguna oborinske vode bi se mogle dodatno pročistiti, ali i koristiti i za navodnjavanje i zaštitu od požara.
- Razmatranja nekonvencionalnih rješenja popravljivanja vodne bilance vodnog sustava Vranskog jezera u vidu smanjivanja isparavanja sa jezerske površine. Kako je godišnja količina voda koja ispari sa površine Vranskog jezera zasigurno i više nego dvostruko veća od crpljenih količina voda za vodoopskrbu, u uvjetima očekivanih porasta potreba za vodom, temperatura pa tako i isparavanja, jedini način na koji se može povoljnije utjecati na vodnu bilancu je, osim smanjivanja količina zahvaćenih voda, smanjenje količine isparavanja na način da se umjetno zasjeni dio jezerske površine. To sigurno nije najpoželjnije rješenje za tako vrijedan otočki fenomen (prirodno i ambijentalno), no u svijetu postoje rješenja i na tako velikim prirodnim sustavima u vidu izgradnje plutajućih sjenila, ponegdje u vidu fotonaponskih ćelija. Stoga je nužno promišljati i o potencijalnim nekonvencionalnim rješenjima u budućnosti s kojima bi se zaštitilo Vransko jezero od prekomjernog spuštanja njegove razine, kao i osigurali povoljniji temperaturni uvjeti u samom jezeru, tj. zaštitilo ga od prekomjernog zagrijavanja.
- Regionalno povezivanja vodoopskrbnog sustava Cresa i Lošinja s vodoopskrbnim sustavima na području istočnog dijela Istre/Liburnije, kao i vodoopskrbnim sustavom otoka Krka. Pri tome valja voditi računa da u sadašnjem trenutku ni jedan od ova dva spomenuta otoku Cresu bliska sustava nema osiguranih nekih dodatnih vodnih zaliha. No, povezivanje bi u situacijama nekih iznimnih situacija, ne samo nužno samo izazvanih klimatskim promjenama i smanjenim mogućnostima zahvaćanja vode za potrebe vodoopskrbe, moglo povećati sigurnost vodoopskrbnih sustava, pri čemu bi valjalo voditi računa o potrebi osiguranja mogućnosti obostranih smjerova cirkuliranja vode u takvim spojnim transportnim sustavima.

Pilot područje Blatsko polje na otoku Korčuli je otočki krški vodonosnik, izvrsne izdašnosti za otočke sljeveve te veličine. Podzemnim intruzijama slane morske vode izložen je tek u specifičnim hidrološkim uvjetima, najčešće nakon više sušnih godina uzastopno. Na žalost, zbog utjecaja promjena klime takvi su događaji sve češći u zadnjim desetljećima, te se u takvim slučajevima moraju smanjivati crpne količine, proglašavati redukcije uz korištenje vode samo za tehničke svrhe i/ili prelaziti na alternativni izvor vode iz vodoopskrbnog sustava NPKLM (Neretva-Pelješac-Korčula-Lastovo-Mljet). Geološka građa terena štiti ovaj vodonosnik od prekomjernog prodora mora s

južne strane, a morfološka i strukturna građa otoka s istočne, te do prodora mora dolazi (zbog orijentacije pukotinskih sustava) najviše sa sjevera, te u manjoj mjeri za zapada. Budući je „žarišna točka“ ovog slijeva samo Blatsko polje u kojem su smješteni svi zdenci koji se trenutno koriste u javnoj vodoopskrbi (Studenac, Gugić, Prbako i Franulović-Prcalo), fokus provođenja bilo kakvih mjera usmjeren je upravo na polje i gospodarenje vodama u njemu (i pod njime), kao i na tehnički dio vodoopskrbnog sustava (cijevi i monitoring), te smanjenje onečišćenja iz samog mjesta Blata. Prirodni hidro(geo)loški uvjeti područja polja, a time i stanja podzemnih voda u ovom krškom slijevu, trajno su poremećeni 1912. godine kada je izgrađen sustav drenažnih kanala u polju i prokopan tunel iz polja prema uvali Bristva na sjevernoj obali otoka. Prije toga polje je povremeno poplavlivalo. Iskustveno pravilo govori da kada „prorade“ kanali i voda teče kroz tunel, sljedeće ljetne (sušne) sezone neće biti niti zaslanjenja u zdencima. Više od stoljeća ovakve situacije, do novijih hidrogeoloških i srodnih im istraživanja, upućuju na to da se ovo stanje može i mora prihvatiti kao „nulto“ za buduća razmatranja. Naravno, za ozbiljno susretanje s mogućim posljedicama klimatskih primjena mora se kontinuirano provoditi i unaprjeđivati edukacija stanovništva, izvoditi hidrogeološka i srodna istraživanja, te usavršavati sustav monitoringa sa što više parametara, kontinuirano (tj. na satnoj, pa i minutnoj rezoluciji prikupljanja podataka). Treba napomenuti kako vrlo kvalitetan monitoring već provodi tvrtka Pomak d.o.o. za Vodovod Blato d.o.o., no ne postoji sustav pohrane podataka, tj. podatci se ne čuvaju više od godine dana, što je za ozbiljnije analize nedovoljno. Takvi podatci čuvani dugoročno mogli bi dati sasvim novo svjetlo u funkcinoniranje ovog krškog sustava što bi moglo znatno poboljšati gospodarenje podzemnim vodama i umanjiti negativne prognozirane učinke klimatskih promjena.

U elaboratu o zonama sanitarne zaštite ovog slijeva (Terzić & Marković, 2015) propisane su mjere prema Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11) i svakako se preporučuje strogo pridržavanje tih mjera kao početna točka. Međutim, u svjetlu prognoziranih klimatskih promjena, to ne može biti dovoljno za očuvanje ovog neprocjenjivog vodnog bogatstva. U istom elaboratu; kao sastavni dio studije, razmatrana je izgradnja regulacijske brane neposredno uz estavelu Mali Studenac u uređenom završnom kanalu koji sve viškove površinskih voda u vodnom dijelu godine drenira u more. Ujedno je moguće usporiti površinske protoke mrežom manjih brana, pregrada, u glavnim kanalima, što bi moglo doprinijeti povećanoj infiltraciji voda u podzemlje. Treba napomenuti kako sve te brane moraju biti tako konstruirane da se mogu otvarati, zatvarati, ili kroz njih propuštati samo određenu količinu vode, kako ne bi dolazilo do poplavlivanja terena. Također, uz te male brane mogu se urediti upojne točke (npr. bušotine ili prokopi do krške podloge polja) te time uspostaviti svojevrsni MAR (managed aquifer recharge – umjetno napajanje vodonosnika) sustav koji može značajno poboljšati infiltraciju. Izgradnja ovakvog sustava brana je ujedno i jedno od najvažnijih oružja za potencijalnu borbu sa smanjenjem infiltracije u ovom slijevu koju mogu uzrokovati klimatske promjene. Osim toga, nudi se više rješenja koja mogu popraviti situaciju u ekstremno sušnim razdobljima, a na nekima od njih već se i radi. Tako je 2020. godine (Ostroški, 2020) izbušena serija bušotinskih zdenaca u Blatskom polju, ali i terenu oko njega, kao i u polju Velika Krtinja, koji se nalazi istočno od Blatskog polja. Četiri zdenca pokazala su značajnu izdašnost, dovoljnu za buduće uključenje u vodoopskrbni sustav. Time bi se ostvarila svojevrsna diverzifikacija, odnosno raspršenje točaka crpljenja ovog vodonosnika. To bi uz veće ili zadržavanje istih količina crpljenja, moglo smanjiti opasnost od, ili intenzitet, podzemnih intruzija morske vode. Također, kada se u potpunosti izgradi sustav kanalizacijske odvodnje i pročišćavanje otpadnih voda mjesta Blato, možda će biti moguće ponovo uključiti npr. Anića zdenac (pukotinu) u Velom polju, koji je prije otprilike dva desetljeća napušten zbog onečišćenja bakterijama fekalnog porijekla i zamućenja. Sve navedene mjere ukratko se mogu svesti na nekoliko natuknica:

- Kontinuirano obrazovanje stanovništva, informiranje o važnosti ovog krškog otočkog vodonosnika od školske dobi nadalje;
- Stalna suradnja s poljoprivrednicima i ostalim korisnicima prostora;
- Prelazak s konvencionalnog na ekološki uzgoj;
- Unaprjeđivanje postojećeg monitoringa uz naglasak na pohranu podataka (zauvijek, a ne godinu dana – tekstualne ili tablične datoteke praktički ne troše diskovne prostore);

- Više analiza fizikalno-kemijskih podataka na svim vodoopskrbnim objektima, više puta godišnje, najmanje kvartalno. Hidrokemijski monitoring iz godine u godinu je sužavan, s nekadašnjih mjesečnih analiza na svim zdencima, danas je smanjen na jednu analizu godišnje i to na reduciranom broju zdenaca. To je minimum propisan hrvatskom i europskom regulativom, no jedna analiza ne znači ništa i možda je bolje da se onda niti ona ne radi, točkasti podatak u razmatranjima ovakvih sustava ne znači ništa i samo može navesti na krivi trag);
- Dodatne analize specifičnih mikroonečišćivala (eng. Emerging contaminants) kako bi se bolje odredili glavni onečišćivači u slijevu, omogućila učinkovitija zaštita te unaprijedile hidrogeološke spoznaje;
- Nastavak hidrogeoloških istraživanja i uključivanje novih objekata u monitoring;
- Izgradnja brane uz estavelu Mali Studenac u kanalu prema tunelu, te po mogućnosti više brana po glavnim kanalima u polju, radi dužeg zadržavanja površinske vode u njima što bi povisilo količinu infiltracije. Po mogućnosti konstrukcija više upojnih točaka čime bi se površinske vode brže i u većoj mjeri dovodile do krškog podzemlja;
- Stalni popravci vodovodne mreže kako bi se maksimalno smanjili gubitci u mreži, te time, između ostalih pozitivnih okolnosti, smanjilo crpne količine u zdencima;
- Uključivanje više mjesta crpljenja, raspršeno po vodonosniku, čime bi se smanjilo prekomjerno sniženje i prodor mora prema jednoj određenoj točki ili po nekom tektonski predisponiranom pravcu (uz postojeće kopane vodoopskrbne zdence postupno treba u javnu vodoopskrbu uključiti nove izdašne bušotine i kontinuiranim hidrogeološkim istraživanjima određivati nove lokacije);
- U budućnosti treba izraditi i sustav ranog uzbunjivanja. Hidrogeološkim i geofizičkim istraživanjima, na glavnim pukotinskim, krškim i općenito, tektonskim pravcima preferiranih podzemnih tokova potrebno je izvesti više piezometarskih bušotina s kontinuiranim praćenjem i automatiziranim sustavom koji bi javljao svako prekomjerno povišenje elektrolitičke vodljivosti prije nego do tog zaslanjenja dođe na crpljenim zdencima. Time bi se na vrijeme, reguliranjem crpnih količina, moglo reagirati i smanjiti intenzitet i trajanje prodora morske vode u ovaj krški vodonosnik.

7.2. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor zdravstva

Klimatske promjene uvjetuju promjene u mnogim sektorima, pa tako i sektoru vodnih resursa kao i sektoru zdravstva. Ti sektori imaju zajedničku domenu, pa su i mjere prilagodbe klimatskim promjenama i umanjivanju nepoželjnih posljedica njihovih manifestacija, u velikom mjeri i zajedničke.

Jedna od najnepoželjnijih posljedica klimatskih promjena su smanjenja raspoloživosti vodnih zaliha za vodoopskrbu i druge namjene korištenja voda. To se odnosi ne samo količine vode u priobalnim područjima već i na pojave dugotrajnijih trajanja malovodnih razdoblja s povećanim zaslanjivanjima vodonosnika krških izvora vodoopskrbe, a time i povećane zdravstvene rizike zbog korištenja voda većeg sadržaja klorida. S druge strane, očekuje se i intenziviranje nepovoljnih stanja uvjetovanih pojavama intenzivnih oborina i s njima povezanih kratkotrajnih udara na kakvoću zahvaćenih voda. Zbog toga je jedna od dominantnih zajedničkih mjera prilagodbe obaju sektora unaprjeđenje monitoringa i istraživačkih aktivnosti, te jačanje otpornosti komunalne vodoopskrbne infrastrukture kako bi se smanjili rizici zaslanjivanja priobalnih vodonosnika.

Obzirom na očekivanja da će klimatske promjene generirati intenziviranje situacija s pojavama povećanih mutnoća kao i s njima vezanih bakterioloških i drugih onečišćenja, kako bi se smanjili zdravstveni rizici za korisnike vodoopskrbe, nužno je poduzimati i slijedeće mjere:

- aktivno pratiti stanje hidroloških prilika i provoditi učestalija ispitivanja kakvoće vode na izvorištima vodoopskrbe, kao i koristiti modele za njihovo predviđanje,
- povezati vodoopskrbni sustav tako da je moguće privremeno korištenje alternativnog izvora koje nije zahvaćeno zamućenjem ili povećanim sadržajem klorida,

- izgraditi ili dograditi uređaje za kondicioniranje vode na izvorištima (opremanje filterima ili drugim tehnologijama za smanjenje onečišćenja uzorkovanih pojavama visokih mutnoća),
- u kritičnim situacijama provoditi pojačanu dezinfekcija vode,
- razmotriti mogućnost osiguranja dodatnih i alternativnih rješenja zahvata voda (neposredni dodatni zahvati iz dijelova vodonosnika koji su manje izloženi utjecajima mora, izgradnja višenamjenskih akumulacija, regionalno povezivanje vodoopskrbnih sustava, umjetna prihranjivanja vodonosnika...),
- umrežavanje, nadogradnja i integracija različitih informacijskih sustava unutar zdravstva radi praćenja indikatora povezanih s vodnim aspektima klimatskih promjena,
- provoditi razvoj modela za predikciju promjena u kakvoći voda uvjetovanih klimatskim promjenama,
- minimalizirati rizike od unosa invazivnih vrsta u pojedina vodna tijela na način da se prije korištenja istraživačke opreme koja se uranja u vodu, ili slične opreme za monitoring, provodi njezina dezinfekcija, posebno ako je već korištena na drugim lokalitetima,
- povećati obuhvat pročišćavanja komunalnih otpadnih voda kako bi se smanjili negativni uplivi na okoliš i ljudsko zdravlje,
- povećavati prihvatni kapacitet vodnih tijela za prijem onečišćenja, posebno u kritično sušnim hidrološkim situacijama osiguranjem ekološki prihvatljivog protoka/biološkog minimuma,
- povećati kontrolu lokaliteta koji mogu biti staništa za širenje bolesti koje prenose vektori,
- prostornim planovima iz zona potencijalnih poplavlivanja izmjestiti subjekte koji pri poplavama mogu povećati zdravstvene rizika,
- povećati kontrolu balastnih voda kako bi se smanjio rizik od unosa stranih kao i invazivnih vrsta u domaći vodni okoliš.

Na temelju rezultata praćenja razviti i koristiti modele za predviđanje potencijalnih utjecaja klimatskih promjena na vodne sustave. Također, potrebno je kreirati bazu podataka kombinirajući rezultate lokalnih i nacionalnih studija, u svrhu racionalizacije korištenja raspoloživih financijskih sredstava i maksimiziranja učinka dostupnih podataka. Ovaj način djelovanja svakako zahtijeva multidisciplinarni pristup s različitim vrstama stručnjaka koji pripadaju i tehničkom i zdravstvenom sektoru. Osim toga, budući da klimatske promjene ne poznaju granice, međuregionalna i regionalna suradnja neophodna je za svako uspješno djelovanje.

7.3. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor poljoprivrede

Sve dulja i češća sušna razdoblja, smanjenja količine voda u vodotocima i izvorištima, olujni vjetar, poplave, tuča, požari, kao i sve veća ugroženost poljoprivrednih kultura od toplinskih valova tijekom posljednjih desetljeća, posebice u Dalmaciji, jasan su signal u sektoru poljoprivrede, poglavito voćarima, maslinarima i vinogradarima, da počnu s provedbom mjera prilagodbe klimatskim promjenama.

Smanjena dostupnost vode vjerojatno će dodatno utjecati na smanjenje prinosa i vlažnosti tla što će utjecati na područja namijenjena za poljoprivredu ili proizvodnju specifičnih usjeva.

Također, toplije (više) temperature mora vjerojatno će utjecati na ribarsku industriju, potencijalno kroz povećani broj invazivnih vrsta i mijenjanje položaja plićaka, što će zauzvrat utjecati na gospodarstvo obalnih pokrajina i otoka.

Mjere prilagodbe poljoprivrede klimatskim promjenama usmjerene su na prilagodbu prirodnog i ljudskog sustava na sadašnje i očekivane klimatske promjene. To podrazumijeva aktivnosti na smanjivanju ranjivosti na klimatske promjene i smanjivanju razine onečišćenja u okolišu (klimatski aspekt), hitnost provedbe mjera kako bi se smanjili ekonomski gubici, poboljšanje ekonomske učinkovitosti i dodatnih pozitivnih ekonomskih učinaka (ekonomski aspekt), očuvanje bioraznolikosti i zaštitu prirodnih i kulturnih resursa (ekološki aspekt), smanjenje

društvene/socijalne nejednakosti i poboljšanje uvjeta života (socijalni aspekt) te političke i institucionalne kriterije (poboljšanje upravljanja i doprinos političkoj stabilnosti).

Mjere koje je usvojila Organizacija za prehranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda, FAO, s ciljem poboljšanja prehrane i prehrambenih standarda uz unaprjeđenje poljoprivredne proizvodnje i unaprjeđenje života u ruralnim zajednicama, kao klimatski odgovorne poljoprivrede, su: sustavno povećavanje poljoprivredne produktivnosti i prihoda, prilagodba i jačanje otpornosti na klimatske promjene te smanjenje i/ili uklanjanje emisije stakleničkih plinova, gdje god je to moguće.

Neke od ključnih mjera koje karakteriziraju poljoprivredu prilagođenu klimatskim promjenama su :

- potenciranje konzervacijske poljoprivrede,
- održivi sustav uzgoja biljaka i životinja,
- novi plodoredi i uzgoj međusjeva (tzv. cover, catch, cash usjevi),
- sustavno gospodarenje vodom u poljoprivredi,
- praćenje vremenskih prognoza i mijenjanje datuma sjetve,
- uvođenje protupoplavnih mjera,
- uzgoj otpornijih poljoprivrednih kultura i uvođenje stranih kultivara.

Općenito, mjere za ublažavanje klimatskih promjena i njihovog utjecaja na poljoprivredu u svim analiziranim pilot lokacijama su:

- Provedba novog zakonodavnog okvira koji uključuje obvezu izrade studija utjecaja klimatskih promjena i ranjivosti te provedbu mjera prilagodbe klimatskim promjenama za sve razvojne projekte i programe. Izmjene zakonodavnog okvira u području regionalnog razvoja i prostornog planiranja uključuju obvezu izrade procjene utjecaja klimatskih promjena. Time se osigurava identificiranje ključnih problema i predlaganje mjera čija će primjena imati snažan utjecaj na razvoj poljoprivrede. Integriranje klimatskih promjena u Plan razvoja Zadarske županije do 2027. godine te u Strategiju poljoprivrede do 2030. godine na nacionalnoj razini već je provedeno.
- Poboljšanje infrastrukture za razvoj poljoprivrede kroz izgradnju sustava za navodnjavanje ukoliko je to moguće i opravdano vezano za dostupnost vode te izgradnju pogona za proizvodnju u zatvorenom. Razvoj sustava za prošireno navodnjavanje jedna je mjera koja može spriječiti ili umanjiti učinke klimatskih promjena na poljoprivredu, posebno za područja u kojima je smanjen broj oborina. Smanjenje usjeva bez navodnjavanja, u prosječnim klimatskim uvjetima, može varirati od 10 % do 60 %, dok u ekstremno sušnim uvjetima može biti i do 90 % ovisno o kulturi, tlu i području. Također, poljoprivredna proizvodnja u zatvorenom prostoru, poput plastenika, staklenika i sl., omogućava smanjenu izloženost i ranjivost poljoprivrednih proizvođača na klimatske izazove.
- Korištenje inovacija i tehnoloških rješenja. Niz je mjera koje uključuju inovacije i tehnološke iskorake vezano za povećanje energetske učinkovitosti, zelene izvore energije, promjene načina transporta, građevine koje štede energiju s boljom izolacijom te inovacije u načinu proizvodnje i distribucije hrane, poput orijentacije na organski uzgoj i zero-waste potrošnju hrane. Važno je osigurati aktivnosti kao što su: planiranje uporabe zemljišta, novi plodoredi i uzgoj međusjeva (tzv. cover, catch, cash usjevi), poticanje poljoprivrednika na korištenje novih poljoprivrednih kultura otpornih na sušu i brže rastućih sorti te na brigu o klimi i primjena antierozivnih mjera.
- Informiranje, edukacija, podizanje znanja, vještina i upoznavanja sektora poljoprivrede s klimatskim rizicima. Kontinuiranom edukacijom, promocijom, uvođenjem odgovarajućih preventivnih aktivnosti i informiranošću poljoprivrednika, nacionalne, regionalne i lokalne uprave, nadležnih institucija i potrošača na svim razinama, sam proces prilagodbe trebalo bi integrirati u sve aspekte svakodnevnog poslovanja u širem društvenom kontekstu. Još uvijek nedovoljno raširena praksa je uspostava učinkovitog sustava poljoprivrednog osiguranja kao zaštite poljoprivrednika od rizika prirodnih katastrofa.

- Poticanje udruživanja u proizvodnji i plasmanu poljoprivrednih proizvoda, okrupnjivanja poljoprivrednih površina i zajednički nastup u pripremi i provođenju aktivnosti na rješavanju klimatskih izazova.
- Sustavno istraživanje, praćenje, planiranje i upravljanje vodnim resursima vezano za povećanu potrošnju vode uz istovremeno smanjenje i salinizaciju izvora uslijed pojačanih i dužih sušnih razdoblja, te za izgradnju, rekonstrukciju i dogradnju sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda. Nužno je poboljšanje programa praćenja ili primjene hitnih mjera, aktivnosti osposobljavanja osoblja i prijenosa vještina, razvoj strateških ili korporativnih okvira za procjenu klimatskih rizika, financijska rješenja kao što su osiguranje od prekida u lancu opskrbe ili alternativne usluge. Neophodno je i poticanje međusektorske suradnje i integriranog pristupa u zaštiti od štetnog djelovanja voda i zaštiti voda od utjecaja klimatskih promjena.

Uz ove opće mjere, čija provedba je značajna za sva pilot područja i za obalno područje u cjelini, u nastavku je prikazan pregled specifičnih mjera za jačanje razvoja poljoprivrede koje imaju i učinak ublažavanja utjecaja klimatskih promjena na poljoprivredu na pilot lokacijama.

Pilot područje Blatsko jezero – Korčula:

- Edukacija poljoprivrednika u domeni financijske podrške razvoja projekata i poduzetničkih znanja
- Odabir lokacija za izgradnju akumulacija za navodnjavanje
- Izgradnja akumulacija za navodnjavanje

Pilot područje Bokanjac – Poličnik:

- Educiranje i pružanje raznih oblika potpore lokalnim poljoprivrednicima
- Poticanje uvođenja novih tehnologija i proizvodnih praksi za potrebe povećanja otpornosti, produktivnosti i održivosti poljoprivredne proizvodnje i prakse
- Izrada sustava kvalitete za poljoprivredne proizvode
- Razvoj infrastrukture za potrebe poljoprivredne proizvodnje
- Obnavljanje poljoprivrednog proizvodnog potencijala narušenog elementarnim nepogodama i katastrofalnim događajima te uvođenje odgovarajućih preventivnih aktivnosti
- Razvoj poljoprivrednih gospodarstava i poslovanja
- Obnova sela u ruralnim područjima
- Uspostava proizvođačkih grupa i organizacija
- Poticanje ekološke proizvodnje i zelenog poduzetništva
- Poticanje proizvodnje, prerade, trženja i promocije poljoprivrednih proizvoda
- Poticanje udruživanja poljoprivrednih proizvođača
- Stavljanje neobrađenih poljoprivrednih zemljišta u funkciju
- Optimalni razmještaj poljoprivredne proizvodnje i gospodarenje poljoprivrednim zemljištem
- Poboljšanje tržišnih mehanizama za prodaju poljoprivredno-prehrambenih proizvoda
- Razvoj konkurentnosti i kvalitete poljoprivredne proizvodnje
- Poticanje korištenja novih i obnovljivih izvora energije u poljoprivredi
- Uspostava učinkovitog sustava poljoprivrednog osiguranja

Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu:

- Plan zaštite od suše i upravljanja vodom u poljoprivredi
- Izgradnja sustava za skupljanje, čuvanje i dopremu vode u poljoprivredi
- Edukacija i informiranje poljoprivrednika
- Sufinanciranje pozitivnih praksi u poljoprivredi usmjerenih na prilagodbu klimatskim promjenama

7.4. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama za sektor turizma

U Republici Hrvatskoj veći dio turističkih tijekova odvija se u ljetnim mjesecima i to na priobalnom području. Glavna turistička atrakcija je sunce i more na koje klima i klimatski parametri imaju velik utjecaj. Povećanjem temperature može doći do pojave povoljnijih uvjeta u predsezoni (proljeće) i posezoni (jesen) te će se kupališna sezona produžiti na proljeće i jesen. Na taj način bi se mogao ublažiti trenutni problem hrvatskog turizma – sezonalnost. Već sada su neke mediteranske zemlje uvidjele važnost diversifikacije glavnog turističkog proizvoda pa razvijaju i dodatnu ponudu koja se temelji na kulturno-povijesnoj baštini i drugim proizvodima i uslugama kao dodatnim elementima atraktivnosti proizvoda odmora na suncu i moru.

U krškom dijelu Republike Hrvatske većina vodoopskrbnih objekata nalazi se u priobalnom dijelu gdje živi većina populacije. Najčešće su to gradovi i naselja bez alternativne vodoopskrbe. Razvoj turizma i poljoprivrede povećava sezonske eksploatacije vodonosnika, posebno tijekom ljetnih razdoblja kada su potrebe za vodom najveće.

Uz postojeće proizvode obalna i priobalna Hrvatska morat će obogaćivati svoju ponudu, odnosno razvijati proizvode poput kulturno-povijesnog turizma, kreativnog turizma, aktivno-odmorišnog turizma, incentive putovanja, wellness i medicinskog turizma, promatranje ptica i divljine, kongresnog turizma, agroturizma, ali i proizvode u zatvorenom i klimatiziranom prostoru koji se mogu koristiti tijekom najvećih vrućina. Ekonomske posljedice ovih promjena ovisit će o načinu prilagodbe turista, turističkih destinacija te o promjeni sezone godišnjih odmora za putovanje.

Visoke dnevne temperature duž Jadranske obale mogu navesti turiste na plažama da izbjegavaju ova odredišta u korist hladnijih mjesta na sjeveru što bi moglo imati ozbiljne posljedice za mnoge lokalne zajednice, ali i za nacionalnu ekonomiju. Alternativno, klimatske promjene mogu koristiti drugim područjima hrvatskog turizma u razvoju sektora produljenjem turističke sezone ili stvaranjem dvije sezone za posjetitelje - proljeća i jeseni.

Povećanje temperature u ljetnoj sezoni može donijeti nove prilike za razvoj turizma u planinskom području Republike Hrvatske. Planinsko područje može postati posebno zanimljivo turistima koji žele imati klimatski komfor i ugodan boravak. No, ukoliko se to područje želi ozbiljnije uključiti u turističku ponudu morat će je i razvijati kroz, primjerice, razvoj malih obiteljskih hotela, te ponudu koja se temelji na prirodnim ljepotama i aktivnom odmoru (razne planinarske staze, biciklističke staze).

Mjere prilagodbe turizma klimatskim promjenama usmjerene su na prilagodbu prirodnog i ljudskog sustava na sadašnje i očekivane klimatske promjene. To podrazumijeva aktivnosti na smanjenju ranjivosti na klimatske promjene i smanjenje razine onečišćenja u okolišu (klimatski aspekt), hitnost provedbe mjera kako bi se smanjili ekonomski gubici, poboljšanje ekonomske učinkovitosti i dodatnih pozitivnih ekonomskih učinaka (ekonomski aspekt), očuvanje bioraznolikosti i zaštitu prirodnih i kulturnih resursa (ekološki aspekt), smanjenje društvene/socijalne nejednakosti i poboljšanje uvjeta života (socijalni aspekt) te političke i institucionalne kriterije (poboljšanje upravljanja i doprinos političkoj stabilnosti).

Ključne mjere za ublažavanje klimatskih promjena i njihovog utjecaja na turističke aktivnosti te dostupnost i kvalitetu vode su:

- Provedba novog zakonodavnog okvira koji uključuje obvezu izrade studija utjecaja klimatskih promjena i ranjivosti te provedbu mjera prilagodbe klimatskim promjenama za sve razvojne projekte i programe. Izmjene zakonodavnog okvira u području regionalnog razvoja i prostornog planiranja uključuju obvezu izrade procjene utjecaja klimatskih promjena. Time se osigurava identificiranje ključnih problema i predlaganje mjera čija će primjena imati snažan utjecaj na svako poslovanje pa tako i na turizam. Integriranje klimatskih promjena u strategiju razvoja turizma je već provedeno.
- Razvoj selektivnih oblika turizma ključan za prilagodbu turističke ponude novim zahtjevima turista koji zbog vremenskih uvjeta (npr. prevelike vrućine, UV zračenja ili kišovityh razdoblja) ne mogu boraviti u prirodi ili provoditi većinu vremena na plaži. Proizvod „sunca i mora“ po kojem je Hrvatska prepoznatljiva

treba dopunjavati zdravstvenim, sportskim, kulturnim, robinzonskim, povijesnim, obrazovnim, kreativnim ili nekim drugim oblikom turizma. Turistički sektor bi trebao obogaćivati turističku ponudu i nuditi proizvode više kvalitete, te na taj način ostvarivati i bolje ekonomske učinke. Također, potrebno je planirati produženje glavne turističke sezone na travanj, svibanj i rujan. Proteklih nekoliko godina pokazalo je da lipanj i rujan imaju povoljniju temperaturu mora i zraka, kako za kupanje tako i za sunčanje, dok srpanj i kolovoz postaju nestabilniji, kako u temperaturnim tako i u ekstremnim količinama oborina.

- Jačanje stručnih, istraživačkih i upravljačkih kapaciteta za identificiranje rizika negativnih utjecaja klimatskih promjena i prilagodbu slatkovodnih i morskih vodnih sustava u postojećim i budućim klimatskim prilikama te za održivo upravljanje podzemnim vodama. Potrebna su istraživanja i mapiranje novih neistraženih izvora vode.
- Informiranje, edukacija, podizanje znanja, vještina i upoznavanja turističkog sektora s klimatskim rizicima. Kontinuiranom edukacijom, promocijom, uvođenjem odgovarajućih preventivnih aktivnosti i informiranošću turističkih kadrova, nacionalne, regionalne i lokalne uprave, nadležnih institucija i potrošača – turista na svim razinama, sam proces prilagodbe treba integrirati u sve aspekte svakodnevnog poslovanja. Primjerice, potrošači mogu doprinijeti ublažavanju štetnog utjecaja turizma na klimu kroz promjenu ponašanja koja uključuje promjene sadašnjeg trenda češćeg putovanja s kraćim ostancima u destinaciji prema rjeđim putovanjima duljih trajanja, minimizaciju korištenja zračnog avioprijevoza, favoriziranje pro-ekoloških operatera i agencija, davanje prednosti certificiranim i ekološki prijateljskim destinacijama. Trendovi razvoja odgovornog, transformativnog i regenerativnog turizma, kao i volonturizma također mogu pogodovati ublažavanju štetnog utjecaja turizma na klimu te promjeni ponašanja sve većeg broja turista.
- Korištenje inovacija i tehnoloških rješenja. Niz je mjera koje uključuju inovacije i tehnološke iskorake vezano za povećanje energetske učinkovitosti, zelene izvore energije, promjene načina transporta, izgradnju biciklističkih staza, korištenje električnih vozila i plovila, građevine koje štede energiju s boljom izolacijom te inovacije u načinu proizvodnje i distribucije hrane, poput orijentacije na organski uzgoj i zero-waste potrošnju hrane. Također, u obnovi kulturnih dobara za turističku valorizaciju ključno je rukovoditi se održivim i zelenim tehnologijama i građevinskim zahvatima.
- Poboljšanja turističke infrastrukture. Turistička infrastruktura nalazi se uz obalu, što je važno uzeti u obzir zbog buduće promjene razine mora i temperature površine mora te prilikom planiranja budućeg razvoja područja. Posebno značajno je poboljšanje obalne vodno-komunalne infrastrukture.
- Sustavno praćenje, planiranje i upravljanje vodnim resursima vezano za povećanu potrošnju vode tijekom ljetnih turističkih mjeseci uz istovremeno smanjenje i salinizaciju izvora uslijed pojačanih i dužih sušnih razdoblja, te za izgradnju, rekonstrukciju i dogradnju sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda. Poticanje međusektorske suradnje i integriranog pristupa u zaštiti od štetnog djelovanja voda i zaštiti voda od utjecaja klimatskih promjena.

8. ZAKLJUČNO

Klimatske promjene imaju iznimno veliki utjecaj na intenziviranje zaslanjenja i narušavanja labilne dinamičke ravnoteže slatke i slane vode u priobalnim krškim vodonosnicima, kao i na sve učestalije i intenzivnije pojave mutnoća njihovih voda. Očituju se kroz porast temperature zraka, produljenje sušnih razdoblja, povećanje gubitaka vodne bilance na evapotranspiraciju i evaporaciju, promjenu razine podzemnih voda i mora, povećanje intenziteta oborina, povećano površinsko otjecanje u situacijama pojava velikih voda, smanjenje ukupne vodne bilance, a posebno tijekom razdoblja trajanja malih voda te smanjenu infiltraciju u podzemne vode. Svi ti utjecaji, posredno ili neposredno, utječu na vodne resurse u priobalnim krškim vodonosnicima, a njihove se posljedice očituju u problemima organizacije i normalnog funkcioniranja javne vodoopskrbe, negativnom utjecaju na poljoprivrednu djelatnost, razvoju turističke djelatnosti i općenito na zdravlje ljudi.

Projektom UKV istraživanja su provedena za tri potpuno različita priobalna, odnosno otočka vodonosnika: vodonosnik Bokanjac – Poličnik u zaleđu grada Zadra kao primjer priobalnog vodonosnika u kojem se zapaža utjecaj zaslanjenja na pojedinim crpilištima uključenim u sustav javne vodoopskrbe, Vransko jezero na otoku Cresu kao primjer specifičnog otočnog vodonosnika na kojem se za sada ne osjeća utjecaj zaslanjenja, ali je u vrlo labilnoj ravnoteži slane i slatke vode i svaka promjena te ravnoteže može dovesti do nesagledivih posljedica te Blatsko polje na otoku Korčuli kao primjer otočkog vodonosnika s već prisutnim povremenim problemima zaslanjenja.

Za analizu klimatskih simulacija za tri pilot područja korištena su tri RCP scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5, a studijom **se preporuča da se lokalizirane procjene očekivanih klimatskih promjena provode svakih 5 do 10 godina** ovisno o mogućnostima financiranja te dostupnosti stručnih i znanstvenih kapaciteta za korištenje sve naprednijih i složenijih klimatskih produkata. Na osnovu klimatskih modela razvijeni su hidrološki modeli koji kvantificiraju utjecaje klimatskih promjena (prije svega promjena temperatura zraka i količina palih oborina) na hidrološki režim otjecanja za svaki pojedini vodonosnik.

Metodologija hidrogeoloških istraživanja na tri pilot područja projekta UKV ukazuje na potrebu monitoringa dubokih zona vodonosnika i ponašanja zone miješanja slane i slatke vode u krškom vodonosniku. Postavljanjem sustavnog monitoringa po dubini vodonosnika moguća je **uspostava sustava ranog upozorenja**, odnosno mogućnosti automatske redukcije količine crpljenja ili potpunog prekida crpljenja uslijed pojave zaslanjenja u dubokom dijelu vodonosnika. Naime, u tom slučaju je vodoopskrbni objekt potpuno sa slatkom vodom, ali se preventivno zaustavlja ili reducira crpljenje kako ne bi došlo do intenzivnog zaslanjenja cijelog vodonosnika.

Na navedenim vodonosnicima provedena su istraživanja u trajanju od dvije i pol godine, koja su pokazala **potrebu sustavnog kontinuiranog provođenja takvih istraživanja na državnoj razini**. Iako svaki vodonosnik ima svoje specifičnosti, dio istraživanja i metodološki pristup je vrlo sličan, ali prilagođen posebnostima pojedinih vodonosnika. **Sustavni monitoring priobalnih vodonosnika u Republici Hrvatskoj predlažemo provoditi u sklopu Nadzornog monitoringa Republike Hrvatske** za potrebe upravljanja vodama, ali i pripreme Planova upravljanja vodnim područjima. Prvi korak je identifikacija priobalnih i otočnih vodonosnika koji bi bili uključeni u takav monitoring. Na svakom od predloženih priobalnih i otočnih vodonosnika potrebno je provesti detaljna hidrogeološka istraživanja sa svrhom definiranja točaka monitoringa (postojećih bušotina), izvođenja potrebnih novih bušotina te određivanja dubina na kojima je potrebno postaviti senzore za automatsko mjerenje saliniteta (električne vodljivosti). Postepeno, kako istraživanja napreduju, sve monitoringe je potrebno uključivati u jedinstvenu mrežu monitoringa. No, prikupljeni podaci monitoringa nisu interesantni samo za potrebe nadzornog monitoringa koga provode Hrvatske vode, već i za neposredne korisnike – vodoopskrbne tvrtke koje operativno upravljaju režimom korištenja voda na izvorištima vodoopskrbe, i koje koriste informacije monitoringa u realnom vremenu.

Započete aktivnosti na pilot područjima UKV projekta su dobar polazni korak za realizaciju tih zadataka, te je nužno da se uspostavljeni dopunski monitoring održi i unaprijedi u skladu s dodatnim rezultatima koji će vremenom biti prikupljeni i analizirani zajedno s rezultatima ranije uspostavljenog monitoringa nadležnih institucija.

9. LITERATURA

- Alačević, J. (1898): L' antichissimo Acquedotto di Zara.- *Bullettino di archeologia e storia dalmata* 1, Supplemento, Spalato, 1–12.
- Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Vías, J. M., Neukum, C., Sinreich, M., Jimenez Gavilan, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hoetzi, H., Perles, M. & Zwahlen, F. (2006): Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Líbar (Southern Spain).- *Science of the Total Environment*, 357(1-3), 54-73.
- Anić, D. (1954): Prilog geologiji otoka Korčule.- *Geol. vjesnik* VIII-IX, 39-51.
- Antonioli, F. & Silenzi, S. (2007): Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane.- *Quaderni della Societa geologica Italiana*, 2, str. 1-29.
- Antunović, I., Huđber, K. & Ljubić, G. (2016): Izrada i uspostava modela upravljanja potencijalnim zagađivanjem vode na području zona sanitarne zaštite Vodovoda Blato, Završni elaborat o obavljenom trasiranju – Rezultati trasiranja podzemne vode u Krtinji Maloj.- *Fond stručnih dokumenata Ekoturs*, Zagreb.
- Baćani, A., Šumanovac, F., Tomljenović, B., Udiljak, S., Trutin, M., Perković, D., Parlov, J. & Pejaković, M. (2002): Vodoistražni radovi na crpilištu Blato na Korčuli, I. faza.- *Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Arhiv Hrvatskih voda*, Zagreb.
- Baćani, A., Šumanovac, F., Kapelj, S., Udiljak, S., Trutin, M., Perković, D., Parlov, J. & Marković, T. (2004): Vodoistražni radovi na crpilištu Blato na Korčuli, II. faza.- *Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Arhiv Hrvatskih voda*, Zagreb.
- Baćani, A., Vlahović, T. & Perković, D. (2006): Procjena eksploatacijskog kapaciteta crpilišta Blato na otoku Korčula.- *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 18, 1-13.
- Benamatić, D. (1991): Vransko jezero, Otok Cres, Geofizički istražni radovi, Faza I.- *Fond stručne dokumentacije MOHO*, Zagreb.
- Biondić, B., Ivičić, D., Braun, K. & Prelogović, E. (1991): Jezero Vrana na otoku Cresu - hidrogeološki istražni radovi.- *Fond stručne dokumentacije HGI*, Zagreb.
- Biondić, B., Ivičić, D. & Prelogović, E. (1993): The hydrology of the Lake of Vrana the Cres Island.- *Proceedings of the International Symposium "Geomorphology and Sea"*, str. 25-36.
- Biondić, B., Kapelj, S. & Mesić, S. (1994): Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu.- *Fond stručne dokumentacije HGI*, Zagreb.
- Biondić, B., Ivičić, D., Kapelj, S. & Mesić, S. (1995): Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu.- *Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa*, str. 89-94.
- Biondić, B., Kapelj, S. & Kuhta, M. (1998): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu s prijedlogom zona sanitarne zaštite.- *Fond stručne dokumentacije HGI*, Zagreb.
- Biondić, B. & Biondić, R. (2014): Hidrogeologija Dinarskog krša u Hrvatskoj.– *Sveučilišni udžbenik, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, str. 341, ISBN: 978-953-96597-7-4.

- Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J., Meaški, H., Kapelj, S. & Tepeš, P. (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj.- Fond stručnih dokumenata Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Meaški, H., Biondić, B. & Loborec, J. (2014): Vulnerability mapping of Novljanska Žrnovnica karstic spring catchment area in Croatia. Završno izvješće.- Arhiv Geotehničkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Meaški, H., Biondić, B. & Loborec, J. (2015): Karst Aquifers Vulnerability Assessment (KAVA) method applied to the Bakar Bay catchment area in Croatia. Završno izvješće.- Arhiv Geotehničkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Rubinić, J., Biondić, B., Meaški, H. & Radišić, M. (2016): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj.- Fond stručnih dokumenata Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Rubinić, J., Meaški, H., Biondić, B. & Radišić, M. (2019): Definiranje kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja (tehničko izvješće).- Arhiv Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Meaški, H., Biondić, B. & Loborec, J. (2021): Karst Aquifer Vulnerability Assessment (KAVA) Method— A Novel GIS-Based Method for Deep Karst Aquifers.- Sustainability, 13, 3325.
- Biondić, R., Plantak, L., Radovan, A.-M. & Meaški, H. (2022): Saltwater intrusion of Coastal Karstic Aquifer on the Example of the Boljkovac Water Supply Pumping Station Near Zadar, Croatia.- Quaternary, Vol. 5, 36, 1-16, DOI: 10.3390/quat5030036.
- Bolle, H. J. (2003): Mediteran Climate – Variability and Trends.- Springer-Verlag, p. 371, ISBN: 978-3-642-62862-7, Berlin.
- Boljat, E. (2005): Elaborat o istraživanju mogućnosti i uvjeta zahvaćanja izvorske i podzemne vode na području Benkovca – Lišana Ostrovačkih, te u špilji Golubinka.- Fond stručnih dokumenata Estavela, Solin.
- Bonacci, O. (1987): Karst Hydrology, With Special Reference to the Dinaric Karst.- Part of the book series: Springer Series in Physical Environment (SSPENV, volume 2), p. 184, ISBN: 978-3-642-83167-6, Springer.
- Bonacci, O. (1993): The Vrana Lake Hydrology (Island of Cres - Croatia).- Water Resources Bulletin AWRA, USA.
- Bonacci, O. (1995): Investigations in Karst Hydrology of Croatia: The Vrana lake on the Island of Cres.- Acta geologica 25/1, 1-15.
- Bonacci, O. (1996a): Hidrološki radovi na Vranskom jezeru – III faza, Studija hipotetičkog modela funkcioniranja Vranskog jezera uz pretpostavku da je ono vezano s regionalnim (udaljenim) vodonosnikom.- Fond stručne dokumentacije Bonacci-hidro-geo, Split.
- Bonacci, O. (1996b): Hidrološki radovi na Vranskom jezeru – III faza, Analiza bilance jezera primjenom sustava linearnih nejednadžbi te njihovo rješenje simplex metodom.- Fond stručne dokumentacije Bonacci-hidro-geo, Split.
- Bonacci, O. (2014): Analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu.- Hrvatske vode, vol. 22, br. 80, str. 337-346.

- CCKP (Climate Change Knowledge Portal) (2020): Croatia Impacts – Sea Level Rise.- Dostupno na: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/croatia/impacts-sea-level-rise>.
- Chakraborty, R., Khan, K. M., Dibaba, D. T., Khan, M. A., Ahmed, A., & Islam, M. Z. (2019): Health Implications of Drinking Water Salinity in Coastal Areas of Bangladesh.- *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3746.
- Cecconi (1940): Il Regime Idrauliko del Lago di Vrana.- *Annali dei Lavori Pubblici*, Capodistria.
- Ceron, J.-P., & Dubois, G. (2004): The Potential Impacts of Climate Change on French Tourism.- *Current Issues in Tourism*, 8(2): 125-139.
- COST 65 (1995): Karst groundwater protection. Final report.- European Commission, Report EUR 16547 EN, Directorate-General Science, Research and Development, Brussels, Belgium.
- COST 620 (2004): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers.- EUR 20912 EN, Final report. Directorate-General Science, Research and Development, Brussels, Belgium.
- Crnolatac, I. (1961): Geologija šireg područja Bokanjačkog blata i Miljašić jaruge u vezi melioracionih zahvata.- *Fond stručnih dokumenata Projekt, Zagreb*.
- Denic-Jukić, V., Juras, T., Plenković, M., Kadić, A., & Jukić, D. (2012): Turbidity dynamics of the karst spring Ombla (Croatia).- Paper presented at the European Geosciences Union, General Assembly 2012, Beč, Austrija.
- De Weist, R. (1965): *Geohydrology*.- John Wiley and Sons, p. 366, New York.
- Domeignoz-Horta, L.A., Shinfuku, M., Junier, P., Poirier, S., Verrecchia, E., Sebag, D., & Deangelis, K.M. (2021): Direct evidence for the role of microbial community composition in the formation of soil organic matter composition and persistence.- *ISME Commun.*, 1, DOI:10.1038/s43705-021-00071-7.
- Ehleringer, J.R., Buchmann, N., & Flanagan, L.B., (2000): Carbon Isotope Ratios in Belowground Carbon Cycle Processes.- *Ecol. Appl.*, 10, 412–422, DOI:10.2307/2641103.
- Elektroprojekt (1974): Bokanjačko blato: injekciona zavjesa uz zapadni rub i interpretacija istražnih radova. Idejni projekt. Knjiga I-IV.- *Fond stručnih dokumenata Elektroprojekt, Zagreb*.
- EK (Europska komisija) (2021): Stvaranje Europe otporne na klimatske promjene – nova strategija EU-a za prilagodbu klimatskim promjenama Strategiji EU za prilagodbu klimatskim promjenama.- Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0082&from=EN>
- Fortis, A. (2014): Ogledu zapažanja o otocima Cresu i Lošinju (prijevod djela Saggio d'osservazioni sopra l'isola di Cherso ed Osero, objavljenog 1771.g. u Veneciji). *Književni krug Split*, 406 str.
- Franić, D. (1965-1968): Vodoistražni radovi: I. Rezultati bušenja, II. VDP crpljenje i salinitet, III. Vodostaji.- *Arhiv Geotehnika, Zagreb*.
- Franković, A. (1962): Prilog u spoznavanju hidrološkog režima jezera Vrana. *Građevinar* 10, Zagreb.
- Fritz, F. & Pavičić, A. (1965): Bokanjačko blato, Hidrogeološki odnosi, knjiga I i II.- *Fond stručnih dokumenata HGI, Zagreb*.
- Fritz, F. (1968): Zadar: Bokanjačko blato -Ninski Stanovi. Detaljno geološko kartiranje antiklinalne strukture.- *Fond stručnih dokumenata HGI, Zagreb*.

- Fritz, F. & Pavičić, A. (1975): Bokanjačko blato. Hidrogeološki radovi za glavni projekt injekcije zavjese.- Fond stručnih dokumenata HGI, Zagreb.
- Fritz, F. (1976): Hidrogeološka studija Ravni kotari – Bukovica.- Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Fritz, F., Pavičić, A. & Renić, A. (1994): Crpilišta Zadarskog vodovoda. Prijedlog zona sanitarne zaštite.- Fond stručnih dokumenata HGI, Zagreb.
- Fuček, L., Matičec, D., Vlahović, I., Oštrić, N., Protoljan, B., Korbar, T. & Husinec, A. (2012): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, listovi Cres 2, Cres 4, M 1:50 000.
- Gajić-Čapka, M., Güttler, I. & Branković, Č. (2010): Contribution to CC-Waters project: a study of climate and climate change for three test beds in Croatia.
- Gajić-Čapka, M., Güttler, I., Cindrić, K. & Branković, Č. (2018): Observed and simulated climate and climate change in the lower Neretva river basin.- J. Water Clim. Change, 9(1): 124–136.
- Gavazzi, A. (1902): Temperature vode u prelaznom sloju Vranskog jezera. Rad JAZU, Matematičko-Prirodoslovni Razred, 32, str. 18-27
- Gavazzi, A. (1904): Die Seen des Karstes.- Morphologisches Material, Lechner, Wien.
- Gavazzi, A. (1931): Interne Temperaturwellen im Vrana-See (Insel Cres).- Hrvatski geografski glasnik, vol. 3, no. 1, 220-223.
- GEO-5 (2015): Elaborat sanitarne zaštite vodozahvata „Vransko jezero“ na otoku Cresu (tehničko izvješće). Arhiv Geo-5 d.o.o. Rovinj.
- GEO-5 (2022a): Monitoring podzemnih voda Vranskog jezera, Grupa 2: Geološka i geofizička istraživanja (tehničko izvješće). Arhiv Geo-5 d.o.o. Rovinj.
- GEO-5 (2022b): Monitoring podzemnih voda Vranskog jezera, Grupa 3: Analiza postojećeg monitoringa i prijedlog sustava monitoringa jezera (tehničko izvješće). Arhiv Geo-5 d.o.o. Rovinj.
- Geoid Beroš (2021): Monitoring podzemnih voda Vranskog jezera – Izrada piezometara za monitoring podzemnih voda (tehničko izvješće). Varaždin.
- GF Rijeka (Građevinski fakultet u Rijeci) (2016): Hidrološka istraživanja voda rijeke Krke – trendovi i utjecaji klimatskih promjena/varijacija (tehničko izvješće). Arhiv Građevinskog fakulteta u Rijeci, Rijeka.
- GF Rijeka (Građevinski fakultet u Rijeci) (2019): Monitoring i analiza dinamike erozije sedrene barijere na Milinom jezeru (tehničko izvješće). Arhiv Građevinskog fakulteta u Rijeci, Rijeka.
- GF Rijeka (Građevinski fakultet u Rijeci) & DHMZ (2019): Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (Projekt RAINMAN). Arhiv Građevinskog fakulteta u Rijeci, Rijeka – Zagreb.
- GF Rijeka (Građevinski fakultet u Rijeci), GFV (Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu) & Dinaric Hub (2020): Istraživanje dinamike protjecanja voda u slivu Pazinčice i s njime povezanim vodnim resursima krškog vodonosnika središnje Istre te mogućih promjena, utjecaja i rješenja opskrbe vodom, zaštite od poplava i zaštite akvatičkih ekosustava (tehničko izvješće). Arhiv Građevinskog fakulteta u Rijeci, Rijeka.
- Gilbert, R.O. (1987): Statistical methods for environmental pollution monitoring.- John Wiley & Sons, p. 320, ISBN: 978-0471288787, New York.

- Goldscheider, N. & Drew, D. (2007): *Methods in Karst Hydrogeology*.- IAH International Contribution to Hydrogeology, 26, p. 280, ISBN: 9780429153419, CRC Press, London, England.
- Golubić, S. (1961): Prethodna istraživanja vegetacije jezera Vrana na otoku Cresu. Ljetopis JAZU za 1958. godinu. Knjiga 65, str. 295-297.
- Golubić, S. (1962): O problemima zagađenja i zaštite voda s osobitim osvrtom na jezero Vrana na otoku Cresu. Obavještenja (Higijena, Epidemiologija, Zdravstveno prosvjećivanje), V(4), str. 273-282.
- Golubić, S. (1989a): Hidrogeološki istražni radovi u svrhu optimalne eksploatacije vode iz Vranskog jezera na otoku Cresu. Fond stručne dokumentacije INA - projekta, Zagreb.
- Golubić, S. (1989b): Hidrogeološki istražni radovi u svrhu optimalne eksploatacije vode iz Vranskog jezera na otoku Cresu - nastavak I. Fond stručne dokumentacije INA - projekta, Zagreb.
- Halamić, J. & Miko, S. (2009): *Geokemijski atlas Republike Hrvatske*.- ISBN: 978-953-6907-18-2, 87 str., Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P. & Witten, I. H. (2009): *The WEKA Data Mining Software: An Update*, SIGKDD Explorations, vol. 11, br. 1, str. 10-18.
- Herak, M. (1956): *Hidrogeološke prilike otoka Korčule*.- Arhiv HGI 115/1956, Zagreb.
- Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. *Acta Geologica*, 16, str. 1–17.
- Herak, M. (1991): Dinaridi - Mobilistički osvrt na genezu i strukturu (Dinarides - Mobilistic View on Genese and Structures).- *Acta geologica*, 21/2, HAZU, Prirod. istr. 63, p. 35-117, Zagreb.
- Hertelendi, E., Svingor, R., Rank, D & Futo, I. (1995): *Isotope Investigation on Lake Vrana and springs in Kvarner area*.- In Proc. First Croatian Geological Congress, 18.-21.10.1995., 201-205, Opatija.
- HGI (2011): *CC-WaterS project. Climate Change and Impacts on Water Supply. WP4 Water Resources Availability. Test area Bokanjačko Blato, North Dalmatia, Croatia*.- Transnational Cooperation Programme South East Europe.
- Hitrec, T. (1993): *Globalne klimatske promjene i sezonalnost te njihov odraz na turizam*.- Pomorski zbornik, knjiga 31/93. Rijeka.
- Horvat, B. & Rubinić, J. (2006): Annual runoff estimation - an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 51, br. 2, str. 314-324.
- Horvat, B. & Rubinić, J. (2021): Evaluating the Applicability of Thermal Infrared Remote Sensing in Estimating Water Potential of the Karst Aquifer: A Case Study in North Adriatic, Croatia. *Remote sensing*, 13 (2021), 18: 3737; 13183737, 14, DOI:10.3390/rs13183737
- Hrvatske vode (2013): *Plan upravljanja vodnim područjima 2013.-2015*.
- Ilakovac, B. (1982): *Rimski akvedukti na području sjeverne Dalmacije*, Zagreb.
- Ilijanić, N. (2014): *Minerali glina u jezerskim sedimentima istočno jadranske obale kao pokazatelji promjena okoliša tijekom kasnog pleistocena i holocena*.- Doktorska disertacija, PMF, Sveučilište u Zagrebu, 382 str., Zagreb.

- Ilijanić, N., Čupić, D., Miko, S., Mesić, S., Hasan, O., Širac, S., Bakrač, K. & Hajek Tadesse, V. (2015): Istraživanje geneze i paleorazina Vranskog jezera na Cresu. Zbornik radova „Hrvatske vode na investicijskom valu“ - 6. Hrvatska konferencija o vodama, 20.-23.05.2015., Opatija, str. 421-436.
- IPCC (International Panel on Climate Change) (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.- Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 3056.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B. & Yiou, P. (2014): EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research.- Regional Environmental Change. 14: 563–578.
- Jeftić, L., Kečkeš, S. & Pernetta, J.C. (1996): Climatic Change and the Mediterranean: Environmental and societal impacts of climatic change and sea-level rise in the Mediterranean Region: Volume 2. Arnold, London, 564 str.
- JVP Labin (JVP za slivno područje istarskih slivova, Hrvatska vodoprivreda) (1991): Vransko jezero, Rezultati hidroloških istražnih radova I faza (tehničko izvješće). Labin.
- Kaleb, J., Berović, N. & Kale, A. (2005): Vodovod Zadar.- Vodovod, 155 str., Zadar.
- Kapelj, J. & Braun, K. (1997): Jadranska autocesta, sektor Zadar 1 – Šibenik. Konačna studija utjecaja na okolinu. Hidrogeološke i inženjerskogeološke značajke stijena.- Fond stručnih dokumenata HGI, Zagreb.
- Kapelj, J., Buljan, R. & Kapelj, S. (1999): Jadranska autocesta. Sektor Zadar – Split, podsektor Zadar – Šibenik, dionica Zadar 1 – Zadar 2. Hidrogeološki istražni radovi za potrebe odvodnje otpadnih voda. Knjiga 14.- Fond stručnih dokumenata HGI 29/99, Zagreb.
- Kapelj, J., Kapelj, S. & Terzić, J. (2001): Jadranska autocesta. Sektor Zadar – Split, podsektor Zadar – Šibenik, dionica Zadar 2 – Benkovac. Hidrogeološki istražni radovi za potrebe odvodnje otpadnih voda. Knjiga 14.- Fond stručnih dokumenata HGI 79/01, Zagreb.
- Kapelj, J., Terzić, J. & Kapelj, S (2004): Jadranska autocesta, Brza cesta od državne ceste D-8 u Zadru do autoceste Zagreb – Split (Čvor Zadar 2). Studija utjecaja na okoliš, hidrogeološki odnosi u širem području trase.- Fond stručnih dokumenata HGI 42/04, Zagreb.
- Katalinić, A., Rubinić, J. & Bušelić, G. (2007): Hydrology of two coastal karst cryptodepressions in Croatia: Vrana Lake vs Vrana Lake.- Proceedings of Taal2007, the 12th World Lake Conference, 28.10.-2.11.2007., Jaipur, 732-743, India.
- Kapelj, S. (1997): Hidrogeokemijske značajke Vranskog jezera na otoku Cresu.- doktorska disertacija, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 101 str., Zagreb
- Karas, J. (2006): Climate Change and the Mediterranean Region.- Dostupno na: <https://securedstatic.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2006/3/climatechange-and-the-mediter.pdf>

- Karleuša, B., Rubinić, J., Radišić, M. & Krvavica, N. (2018): Analysis of Climate Change Impact on Water Supply in Northern Istria (Croatia). *Tehnički vjesnik: znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku*, 25 (2018), Supplement 2, str. 366-374, DOI:10.17559/TV-20170809140304
- Katalinić, A., Rubinić, J. & Bušelić, G. (2007): Hydrology of two coastal karst cryptodepressions in Croatia: Vrana lake vs Vrana lake, *Proceedings of the 12th World Lake Conference (Taal2007)* Jaipur: Ministry of Environment & Forests, Government of India, str. 732-743.
- Keeling, R.F., Graven, H.D., Welp, L.R., Resplandy, L., Bi, J., Piper, S.C., Sun, Y., Bollenbacher, A., & Meijer, H.A.J. (2017): Atmospheric evidence for a global secular increase in carbon isotopic discrimination of land photosynthesis.- *P. Natl. Acad. Sci.*, 114, 10361–10366, DOI:10.1073/pnas.1619240114.
- Khan, A.E., Scheelbeek, P.F.D., Shilpi, A.B., Chan, Q., Mojumder, S.K., Rahman, A., Haines, A. & Vineis, P. (2014). Salinity in drinking water and the risk of (pre)eclampsia and gestational hypertension in coastal Bangladesh: a case-control study.- *PLoS One*, 9(9), e108715, doi:10.1371/journal.pone.0108715.
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K. & Wulfmeyer, V. (2014): Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble.- *Geoscientific Model Development*. 7(4): 1297–1333.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated.- *Meteorologische Zeitschrift*. 15(3): 259–263.
- Korolija, B. & Borović, I. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Lastovo i Palagruža L33–46 i 57.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki institut, Beograd.
- Kraljev, D., Gajić-Čapka, M. & Zaninović, K. (2005): U okrilju Sunca i mora: klimatska monografija Zadra.- Zadar: Zadiz, Hrvatsko meteorološko društvo.
- Krulc, Ž. (1954): Geoelektrična ispitivanja Bokanjačkog blata.- Fond stručnih dokumenata HGI 2475a, Zagreb.
- Krznar, J. (1968): Korčula – Blatsko polje. Bojenje Anića bunara, Gugića pukotine i Malog Studenca.- *Arhiv Geotehnika*, Zagreb.
- Kuhta, M. (2002): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 2001.-2002.g. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- Kuhta, M. & Brkić, Ž. (2013): Seasonal temperature variations of Lake Vrana on the Island of Cres and possible influence of global climate changes.- *Journal of Earth Science and Engineering*, 3, 4, 225.
- Langbein, W.B. (1962): The Water Supply of Arid Valleys in Intermountain Regions In Relation to Climate, *IAHS Bull.*, Vol.7/1.
- Lionello, P. Malanotte-Rizzoli, P. & Boscolo, P. (2006): *Mediterranean Climate Variability*.- Elsevier, pp. 324-372, Amsterdam.
- Lorenz, R. (1859): *Der Vrana See*.- Petermans Georg, Mitt 1, Gotha.
- 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 (2020), str. 1975-1988, DOI:10.1007/s11053-019-09558-6

- Lukač Reberski, J., Terzić, J., Bojat, I., Rubinić, J., Radišić, M., Hasan, O., Šparica Miko, M. & Selak, A. (2022): Utjecaj klimatskih promjena na vodonosnik Blatskog polja u zapadnom dijelu otoka Korčule.- Voda i javna vodoopskrba - XXVI. znanstveno-stručni skup, Ujević Bošnjak, M. (ur.), Hrvatski zavod za javno zdravstvo.
- Magaš, N. (1965): O depresiji Vranskog jezera na otoku Cresu i geološkim odnosima ovog područja. Geološki vjesnik 18/2, Zagreb, str. 255-261.
- Magaš, N. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Cres L33–113. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1965); Savezni geološki zavod, Beograd.
- Magaš, N. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Cres L33–113. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1965); Savezni geološki zavod, Beograd, 42 str.
- Magdalenić, A. (1960): Geološka, hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja otoka Korčule.- Arhiv HGI 30/60, Zagreb.
- Majcen, Ž., Korolija, B. & Vrsalović, I. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za List Zadar L33–139.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki institut, Beograd.
- Majcen, Ž., Korolija, B., Sokač, B., Nikler, L., Šparica, M., Vrsalović, I., Brkić, M., Mamužić, P., Cukor, V., Šušnjara, A., Ivanović, A. & Posavec, M. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Karta, List Zadar L33–139.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki institut, Beograd.
- Marasović, K., Margeta, J. & Perojević, S. (2016): Antički vodovodi u Dalmaciji, u: Sabor hrvatskih graditelja 2016, Lakušić, S. (ur.), Cavtat, 867–878.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993): The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales.- Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- Margat, J. (1968): Vulnérabilitié des nappes d’eau souterraine à la pollution.- BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orléans
- Marinović, V., & Petrović, B. (2019): Turbidity dynamics in karst hydrogeological systems. Example of three karst springs from Serbia.- 46th IAH Congress 2019 groundwater management and governance - coping with water scarcity.
- Matičec, D. (2009): Krški Dinaridi. Tektonski pregled.- U: Velić, I. & Vlahović, I. (ur.) (2009): Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, 105-106, Zagreb.
- Mayer, E. (1874): Der Vrana See auf der Insel Cherso im Adriatischen Meere. Mitt. Geogr. Ges. 16, Wien, str. 240-250
- Mesić, S. & Kuhta, M. (2001): Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 1998.-2000. godina. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- Mesić, S. (2004): Antropogeni utjecaj na geokemijski sastav holocenskih sedimenata Vranskog jezera na Cresu. Doktorska disertacija. Prirodoslovni-matematički fakultet, Zagreb.
- Miko, S., Peh, Z., Bukovec, D., Prohić, E. & Kastmüller, Ž. (2000): Geochemical baseline mapping and lead pollution assessment of soils on the karst in Western Croatia.- Nat. Croat., Vol. 9, No. 1.,41–59, Zagreb.

- Miko S., Hasan O., Komesarović B., Ilijanić N., Šparica Miko M., Đumbir A., Ostrogović Sever M., Marjanović, H. (2017): Promjena zaliha ugljika u tlu i izračun trendova ukupnog dušika i organskog ugljika u tlu te odnosa C:N.- 4 knjige, Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Zagreb.
- Miletić, Ž. (2017): Rimski akvedukt Vrana – Zadar, u: Braća Vranjani i vransko područje tijekom povijesti, Zbornik radova sa znanstvenog skupa Braća Vranjani i vransko područje tijekom povijesti održanog u Biogradu 25. travnja 2014., Došen, B. (ur.), 39–52.
- Morton, F. (1933): Der Vrana–See auf der italienischen Insel Cherso. Arch. Hydrobiol., 25, str. 616–627.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. & Wilbanks, T.J., (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment.- Nature. 463: 747–756.
- MZOE (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike) (2017): Projekt programa Prijelazni instrument tehničke pomoći EU: Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (Broj ugovora: TF/HR/P3-M1-O1-010), Zagreb.
- MZOE (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike) (2018): Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC).
- Munda, B., Trutin, M. & Matić, N. (2006): Izrada projekta namjenskih hidrogeoloških istraživanja mikrozone potencijalnog centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije.- Fond stručnih dokumenata Geoaqua, Zagreb.
- Munda, B., Trutin, M. & Matić, N. (2007): Trasiranje podzemnog toka vode kao dio Projekta namjenskih hidrogeoloških istraživanja mikrozone potencijalnog centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije na lokaciji zapadno od Biljana Donjih.- Fond stručnih dokumenata Geoaqua, Zagreb.
- Munda, B. (2007): Izrada projekta namjenskih hidrogeoloških istraživanja mikrozone potencijalnog centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije.- Fond stručnih dokumenata Geoaqua, Zagreb.
- Nahian, M. A., Ahmed, A., Lázár, A. N., Hutton, C. W., Salehin, M., & Streatfield, P. K. (2018): Drinking water salinity associated health crisis in coastal Bangladesh.- Elementa: Science of the Anthropocene, 6, doi:10.1525/elementa.143.
- Narodne Novine 66/11 (2011): Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta. Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva RH.
- Narodne novine 66/16 (2016): Odluka o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima Republike Hrvatske 2016-2021.
- Narodne novine 125/17 (2017): Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe.
- Narodne novine 39/20 (2020): Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe.

- Narodne novine 46/20 (2020): Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu.
- Nümann, W. (1949): Beiträge zur Hydrographie des Vrana See (Insel Cherso), insbesondere Untersuchungen über die organische sowie anorganische Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Nova Thalassia.
- Ostroški, T. (2020): Istražno bušenje na području Blata na Korčuli, Tehničko izvješće.- Arhiv stručne dokumentacije Geobim, Beletinec.
- Ožanić, N. & Rubinić, J. (1994): Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu.- Hrvatske vode, 2, 535-543, Zagreb.
- Ožanić, N. & Rubinić, J. (1995a): Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u 1995. godini. Fond stručne dokumentacije Hrvatske vodoprivrede Rijeka i JVP istarskih slivova, Labin.
- Ožanić, N. & Rubinić, J. (1995b): Hidrološki koncept funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. Zbornik radova 1. Hrvatske konferencije o vodama, str. 159-167.
- Ožanić, N. (1996): Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu.- doktorska disertacija, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, 139 str., Split.
- Patekar, M., Baniček, I., Rubinić, J., Lukač Reberski, J., Boljat, I., Selak, A., Filipović, M. & Terzić, J. (2021): Assessing Climate Change and Land-Use Impacts on Drinking Water Resources in Karstic Catchments (Southern Croatia). Sustainability 13, br. 9: 5239. <https://doi.org/10.3390/su13095239>.
- Pauković, N., Domančinović, Z. & Raffaelli, P. (1955): Mogućnost melioracije Bokanjačkog blata.- Fond stručnih dokumenata HGI 2475, Zagreb.
- Pavičić, A. (1999): Benzinska postaja u području Murvice. Hidrogeološki istražni radovi. Mikrozoniranje III zone sanitarne zaštite crpilišta Bokanjac – bunari.- Fond stručnih dokumenata HGI 91/99, Zagreb.
- Pavičić, A. & Terzić, J. (2006): Hidrogeološki i geofizički istraživački radovi za mikrozoniranje Poslovne zone "Bokanjac" kod Zadra.- Fond stručnih dokumenata HGI 14/06, Zagreb.
- Pavičić, A. & Terzić, J. (2008): Hidrogeološki i geofizički istraživački radovi područja Poslovne zone u predjelu Crno u Zadru.- Fond stručnih dokumenata HGI 30/08, Zagreb.
- Penzar, B. & Makjanić, B. (1978) Uvod u klimatologiju.- Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Liber, str. 206, Zagreb.
- Perčec Tadić, M. (2010), Gridded Croatian climatology for 1961-990.- Theor. Appl. Climatol., 102(1-2), 87–103.
- Perčec Tadić, M., Pasarić, Z. & Guijarro, J.A. (2022): Croatian High-Resolution Monthly Gridded DataSet of Homogenised Surface Air Temperature.- Theor. Appl. Climatol., 10.1007/s00704-022-04241-y.
- Petrik, M. (1957): Hidrološki režim jezera Vrana. Krš Jugoslavije, 1, str. 109-161.
- Petrik, M. (1960): Prilozi limnologiji jezera Vrana. Krš Jugoslavije, 2, str. 105-192.
- Petrik, M. (1961): Raspoloživa količina vode u jezeru Vrani na Cresu. Građevinar, 13(4), str. 93-98.
- Petrik, M. (1969): Mišljenje o mogućnostima iskorištavanja jezera Vrane na Cresu za opskrbu stanovništva vodom. Fond stručne dokumentacije Rijekaprojekta, Rijeka.

- Petrović, V. (1957): Vransko jezero na otoku Cresu. Geodetski radovi. Krš Jugoslavije, 1, str. 163-170.
- Pirazzoli, P.A. (2000): Sea-level changes: the last 20 000 years.- Chichester: Wiley.
- PMF (Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu), GF Rijeka (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci) & GFV (Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu) (2021): Hidrodinamičko modeliranje sustava Plitvičkih jezera. Arhiv Prirodoslovno – matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Poljak, J. (1947): Izvještaj o geološkim istraživanjima jezera Vrana na otoku Cresu. Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.
- Prohić, E. (2002): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na Cresu – Morfogeneza, geokemija sedimenta, Funkcioniranje, Opterećenje i zaštita sustava – Preliminarni izvještaj I faze istraživanja. Fond stručne dokumentacije PMF, Zagreb.
- Prohić, E. (2003): Nastanak i budućnost Vranskog jezera na Cresu – Morfogeneza, geokemija sedimenta, Funkcioniranje, Opterećenje i zaštita sustava – II faza istraživanja. Fond stručne dokumentacije PMF, Zagreb.
- Ravbar, N., & Goldscheider, N. (2007): Proposed methodology of vulnerability and contamination risk mapping for the protection of karst aquifers in Slovenia. Acta carsologica, 36(3).
- Rubinić, J. (1988): Kolebanje nivoa Vranskog jezera na Cresu (1949-1987), hidrološki izvještaj. Fond stručne dokumentacije Vodoprivrede Rijeka, Rijeka.
- Rubinić, J. (1990): Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu. Fond stručne dokumentacije Vodoprivrede Rijeka, Rijeka.
- Rubinić, J. (1991): Vransko jezero – rezultati hidroloških istražnih radova I faza. JVP istarskih slivova Labin, Hrvatska vodoprivreda Rijeka, Labin.
- Rubinić, J. & Ožanić, N. (1992): Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu. Građevinar, vol. 44, br. 8, str. 521-530.
- Rubinić, J., Terzić, J., Marković, T. & Horvat, B. (2011a): Test area Bokanjačko Blato, North Dalmatia, CROATIA. CC-WaterS - Climate Change and Impacts on Water Supply.
- Rubinić, J. Kuhta, M., Brkić, Z., Horvat, B. & Terzić, J. (2011b): Test area Vrana Lake, Cres Island (Croatia). CC-WaterS - Climate Change and Impacts on Water Supply.
- Rubinić, J., Terzić, J., Marković, T. & Horvat, B. (2011c): Test area Blatsko polje, Korčula Island, CROATIA. CC-WaterS - Climate Change and Impacts on Water Supply.
- Rubinić, J. (2014): Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji. Doktorska disertacija. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.
- Rubinić, J. & Katalinić, A. (2014): Water regime of Vrana Lake in Dalmatia (Croatia): changes, risks and problems. Hydrological Sciences Journal, vol. 59, br. 10, str. 1908-1924.
- Schmidt, R., Müller, J., Drscher-Schneider, R., Krisal, R., Szeroczynska, K. & Barić, A. (2000): Changes in lake level and trophy at Lake Vrana, a large karstic lake on the island of Cres (Croatia), with respect to palaeoclimate

and anthropogenic impacts during the last approx. 16,000 years. *Journal of Limnology*, vol. 59, br. 2, str. 113-130.

Selak, A., Lukač Reberski J., Klobučar, G. & Grčić, I. (2022a): Data on occurrence and ecotoxicological risk of emerging contaminants in Dinaric karst catchment of Jadro and Žrnovnica springs.- *Data Brief.*, 10;42:108157.

Selak, A., Lukač Reberski J., Klobučar, G. & Grčić, I. (2022b): Ecotoxicological aspects related to the occurrence of emerging contaminants in the Dinaric karst aquifer of Jadro and Žrnovnica springs.- *Sci. Total Environ.*, 825, 153827. DOI: 10.1016/j.dib.2022.108157

Stajić, D. (1991): Rezultati geodetsko - hidrografskih istraživačkih radova na Vranskom jezeru. Fond stručne dokumentacije Hidrografskog instituta JRM, Split.

Svetličić, E. (1961): Bokanjačko blato. Hidrološka studija.- Fond stručnih dokumenata Projekt, Zagreb.

Šarin, A & Singer, D. (1990): Izvještaj o hidrogeološkim istraživanjima izvedenim za potrebe izrade prijedloga zona sanitarne zaštite crpilišta vodovoda Blato (I. faza radova).- *Arhiv HGI 44/1990*, Zagreb.

Šarin, A., Goatti, V. & Hrelčić, Đ. (1992): Projekt izrade osnovne hidrogeološke karte Hrvatske 1:100.000. List Lastovo, područje kartiranja: otok Korčula.- *Arhiv HGI 39/92*, Zagreb.

Šegota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem Würmu.- *Geografski glasnik 30*, Zagreb.

Šegota, T. & Filipčić, A. (2000): Hipotetska starost Vranskog jezera na Cresu. *Acta Geographica Croatica*, vol. 35, br. 1, str. 45-55.

Šikić, D. (1956): Geološki pregled otoka Korčule.- *Arhiv HGI 114/1956*, Zagreb.

Štefanec, B. (2021): Podzemna trasa rimskog akvedukta Biba-Jader.- *Diadora*, 35, 153-170.

Šverko Grdić, Z. (2012): Klimatske promjene i razvoj hrvatskoga turizma.- doktorska disertacija, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu, Sveučilište u Rijeci, 276 str., Opatija.

Taylor, K.E., Stouffer, R.J. & Meehl, G.A. (2012): An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4): 485-498.

Terzić, J. & Marković, T. (2005): III. faza vodoistražnih radova na području vodocrpilišta Blato na otoku Korčuli.- *Arhiv HGI 1913/2005*, Zagreb.

Terzić, J. & Lukač Reberski, J. (2012): Hidrogeološki sustav Bokanjac – Poličnik – reinterpretacija dosadašnjih istraživanja.- *Fond stručnih dokumenata HGI*, Zagreb.

Terzić, J. & Lukač Reberski, J. (2013): Hidrogeološki elaborat zona sanitarne zaštite crpilišta zadarskog vodovoda (Zdenci B-4 i B-5, Jezerce, Oko, Boljkovac i Golubinka) u sklopu hidrogeološkog sustava Bokanjac – Poličnik.- *Arhiv Hrvatski geološki institut*, Zagreb.

Terzić, J., Lukač Reberski, J. & Rubinić, J. (2015): Groundwater Protection and Climate Change Predictions of a Complex Dinaric Karst Catchment. A Case Study of the Bokanjac – Poličnik Area, Croatia. *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 1*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09300-0_18.

- Terzić, J., Borović, S., Filipović, M. & Burić, H. (2016): Hidrogeološka i geofizička istraživanja područja općine Vela Luka.- Arhiv HGI 1592/2016, Zagreb.
- Terzić, J., Grgec, D., Lukač Reberski, J., Selak, A., Boljat, I. & Filipović, M. (2021): Hydrogeological estimation of brackish groundwater lens on a small Dinaric karst island: Case study of Ilovik, Croatia.- CATENA. doi:10.1016/j.catena.2021.105379
- Terzić, J., Frangen, T., Borović, S., Lukač Reberski, J. & Patejar, M. (2022): Hydrogeological Assessment and Modified Conceptual Model of a Dinaric Karst Island Aquifer.- Water 2022, 14, 404. <https://doi.org/10.3390/w14030404>
- Tung, J.W.T. & Tanner, P.A. (2003): Instrumental determination of organic carbon in marine sediments.- Marine Chemistry, 80 (2-3), 161-170.
- Turc, L. (1954): Le bilan d'eau des sols, relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, Troisièmes journées de l'hydraulique à Alger.
- UNDP (United Nations Development Programme) (2008): Osnovne činjenice, str 13.
- UNEP (United Nations Environmental Programme) (2015). Procjena mogućih šteta od podizanja razine mora za Republiku Hrvatsku uključujući troškove i koristi od prilagodbe., str. 18. Dostupno na: <https://repositorij.svkst.unist.hr/islandora/object/efst:248>
- UNWTO (United Nations World Turistic Organization) (2016): 2016 Annual Report.- pp. 80, ISBN: 978-92-844-1871-8.
- UN - Program za okoliš, Mediteranski akcioni plan i Ministarstvo graditeljstva i zaštite prirode, Odjel za Jadran (1993): Utjecaj predviđenih globalnih promjena klime na otočje Cres Lošinj. Rijeka.
- Verruijt, A. (1968): A note on the Ghyben-Herzberg formula. International Association of Scientific Hydrology, Bulletin, Taylor & Francis Group, 13(4), 43-46.
- Vías, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I. & Jiménez, P. (2006): Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method.- Hydrogeology Journal, 14, 912-925.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. & López-Moreno, J.I. (2010): A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. Journal of Climate 23: 1696, DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Vidaček, Ž., Bogunović, M., Husnjak, S., Sraka, M., Bensa, A. & Petošić D. (2004): Tumač hidropedološke karte Republike Hrvatske, M 1:300 000.- Zavod za pedologiju, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Wall, G. (2006): Turistička industrija: njena ranjivost i prilagodljivost promjeni klime. Acta Turistica, 18(2): 171-192.
- WEKA (2017): <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
- WHO (World Health Organization) (2004): Guidelines for drinking-water quality, 3rd edition: Volume 1 - Recommendations incorporating the first and second addenda, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611>. Geneva, Switzerland.
- Wilcoxon, F. (1945): Individual comparisons by ranking methods. Biometrics Bulletin, vol. 1, br. 6, str. 80-83.

Witten, I. H. & Frank, E. (2000): Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann.

WTO & UNEP (2008): Climate Change and Tourism - Responding to Global Challenges. Madrid. Dostupno na: <http://sdt.unwto.org/sites/all/files/docpdf/climate2008.pdf>

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec-Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnc, L. & Vučetić, V. (2008): Klimatski atlas Hrvatske (Climate atlas of Croatia): 1961.-1990., 1971.-2000., Zagreb. Državni hidrometeorološki zavod, str. 200.

Žugaj, R. & Batić, V. (1994): Hidrogeološka studija i elaborat o učinku injekcijske zavjese. Vodoopskrba Zadra i okolice, I. faza.- Fond stručnih dokumenata Elektroprojekt, Zagreb.

Žugaj, R. (1994): Hidrološka studija. Vodoopskrba Zadra i okolice, I. faza.- Fond stručnih dokumenata Elektroprojekt, Zagreb.

10. ISKUSTVA I IMPRESIJE O PROVEDENIM ISTRAŽIVANJIMA

dr.sc. Krešo Pandžić (DHMZ)

Tema projekta – ugroženost priobalnih jadranskih vodonosnika od klimatskih promjena je istraživačka top tema, a u skladu s agendom “Pariškog sporazuma o klimatskim promjenama” iz 2015. godine o ublažavanju utjecaja klimatskih promjena to jest jačanje otpornosti na klimatske promjene te Akcijskog plana Republike Hrvatske o prilagodbi na klimatske promjene. Projekt je nastavak sličnog projekta za srednju i jugoistočnu Europu “Utjecaj klimatskih promjena na opskrbu vodom” (CC-Waters). Povoljno je da su u projekt UKV uključeni partneri iz Hrvatske s iskustvom na projektu CC-Waters te da su odabrana tri pilot područja: Vransko jezero na Cresu, Bokanjačko blato kod Zadra i Blatsko polje kod Vela Luke koja su bila predmet istraživanja projekta CC-Waters. Sustavno je planirana provedba aktivnosti na projektu UKV, najprije su uspješno provedene javne nabave i instalirana mjerna oprema da bi na raspolaganju bio što dulji niz mjerenja pokazatelja kakvoće pitke vode u vodonosnicima na pilot područjima. Državni hidrometeorološki zavod, kao partner na projektu UKV, je završio studiju o stanju klime i projekcijama do kraja 21. stoljeća krajem srpnja 2021. godine kako bi ostali partneri, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu – nositelj projekta UKV; Hrvatski geološki institut i Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, mogli koristiti te rezultate za svoja istraživanja. Iako u otežanim uvjetima zbog epidemije COVID-19, svi su predviđeni terenski radovi, sastanci i radionice uspješno i na vrijeme održani. Osobito su dojmljive bile radionice na pilot područjima zajedno s lokalnim zajednicama i drugim dionicima. Čestitam svim sudionicima na projektu za uspješan završetak projekta UKV. Zahvala kolegicama i kolegama Državnog hidrometeorološkog zavoda na izvanrednom trudu te suradnji sudionika Hrvatskog geološkog instituta i Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Posebna zahvala voditelju projekta prof.dr.sc. Ranku Biondiću, prodekanu Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i dekanu izv.prof.dr.sc. Hrvoju Maeškom na podršci te ostalim sudionicima s Geotehničkog fakulteta, a osobito doktorandici Luciji Plantak za izvrsno administriranje projekta. Ukupnu provedbu projekta UKV ocjenjujem kao izvrsnu.

Maja Radišić, mag.ing.aedif. (GF Rijeka)

Projekt “Upravljanje krškim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV)” usmjeren je na istraživanje utjecaja klimatskih promjena na priobalne krške vodonosnike, gdje su odabrana tri karakteristična pilot područja istraživanja: Bokanjac – Poličnik kod Zadra, Vransko jezero na otoku Cresu i Blatsko polje na otoku Korčuli. Zadatak ekipe sa Građevinskog fakulteta u Rijeci, među kojima sam i ja član, bio je provedba dopunskog monitoringa i analiza rezultata istraživanja na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu, kao i provedba hidroloških projekcija mogućih promjena za različite scenarije klimatskih projekcija na svim trima pilot područjima. Postavili smo mjerne uređaje, koji mjere električnu vodljivost, temperaturu i razinu vode, u samom jezeru, u zaleđu jezera u dvije postojeće piezometarske bušotine, kao i na mjestima gdje se odvija najintenzivnija komunikacija podzemnih voda i mora na rubnim dijelova priobalnog otočkog krškog vodonosnika - Vrulja Vrutak na zapadnoj, te priobalni izvor Lukavac na istočnoj obali Cresa. Također na mjestima komunikacije podzemnih voda i mora, provodilo se snimanje terena bespilotnom letjelicom opremljenom termalnom kamerom za snimanje u termalnom infracrvenom spektru. Sva ta istraživanja, kao i terenski obilasci, bili su vrlo zanimljivi i poučni te sam saznala korisne informacije o dinamici kolebanja voda Vranskog jezera i njegovog krškog vodonosnika. Tijekom ovog projekta prvi put sam radila na istraživanjima/obradama termalnih snimki snimljenih bespilotnom letjelicom, gdje smo detektirali već poznatu vrulju i izvor, kao i otkrili neke nove i još neistražene.

Prisustvovanjem na radionicama saznala sam i vrlo korisne informacije o druga dva pilot područja, a pogotovo na pilot području Blatsko polje koje do sad nisam imala prilike istraživati, a što sve daje podlogu za primjenu u nekim budućim istraživanjima i na drugim lokalitetima. Zahvaljujem se svim sudionicima u projektu na suradnji i lijepom druženju, te kolegama sa Geotehničkog fakulteta na odličnom vođenju projekta.

Prof.dr.sc. Ranko Biondić (GFV)

Pripreme za projekt UKV započeli smo u ljeto 2019. godine razgovorima u užem timu predstavnika partnerskih institucija. Nakon ljeta organizirani su prvi sastanci i tek se tada stvorila slika kako bi projekt trebao izgledati, koji bi bili ciljevi projekta, što bi istraživali. Danas, kada se sjetim tih trenutaka čini mi se to kao daleka prošlost jer je kroz projekt bilo toliko aktivnosti, razgovora, sastanaka, terenskih obilazaka i istraživanja. Također, u početnom dijelu projekta bio je lockdown uzrokovan pandemijom COVID-19 što je iznimno utjecalo na provođenje aktivnosti projekta, ali smo uspješno prebrodili i tu prepreku te obavili sve što je bilo i zamišljeno projektnom prijavom.

Na projektu smo istraživali jednu vrlo osjetljivu problematiku upravljanja priobalnim krškim vodonosnicima u uvjetima klimatskih promjena i nadam se da smo učinili korak naprijed u razumijevanju te problematike istraživanjima na našim pilot područjima. Takva istraživanja treba institucionalizirati i uvesti u Nadzorni monitoring podzemnih voda kao dio stalnog monitoringa priobalnih vodonosnika u Hrvatskoj na način kako to već više godina čine druge Mediteranske Europske zemlje.

Ovim putem zahvaljujem svim suradnicima sa Geotehničkog fakulteta, ali i našem Računovodstvu i stručnim službama koje su itekako „sudjelovali“ u projektnim aktivnostima. Također, velika zahvala ide i suradnim institucijama i njihovim predstavnicima koji su ovaj projekt svojim pristupom učinili vrlo ugodnim i prijateljskim te u njega unijeli dio svojih znanja usmjeren prema zajedničkom cilju – uspostavi sustava upravljanja krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima od utjecaja zasljenja, ali i ostalih posljedica klimatskih promjena.

Ivana Boljat, dipl.ing.geol. (HGI)

Istraživanje krških vodonosnika izazovan je zadatak prvenstveno zbog nepoznavanja heterogenog krškog podzemlja. Tektonski poremećena karbonatna stijenska masa infiltracijom oborina podvrgnuta je procesima okršavanja. Voda polako otapa karbonatnu stijenu stvarajući brojne šupljine i time određuje svojstva hidrogeološke sredine, prvenstveno zone nakupljanja, zadržavanja i strujanja podzemne vode, specifične za svaki vodonosnik. Projekt UKV bavio se istraživanjem priobalnih vodonosnika u kojima dodatan izazov u eksplantaciji pitke vode predstavlja zona miješanja slatke i slane vode u otvorenim stijenskim strukturama prema moru. Mogućnost zasljenja priobalnih vodonosnika povećava se rastom turističke djelatnosti, ali i sve izraženijim klimatskim ekstremima, prvenstveno pojavom sve dužih sušnih razdoblja i izostanka kontinuiranih zimskih padalina koje napajaju vodonosnik. Kao članica tima istraživača s Hrvatskog geološkog instituta aktivno sam provodila terenska i kabinetska istraživanja vodonosnika Blatskog polja na otoku Korčuli. Uspostavom sofisticiranog monitoringa s telemetrijom upoznala sam prednosti kontinuiranog višeparametarskog monitoringa bez kojeg je u budućnosti nezamislivo dobro upravljanje ovakvo osjetljivih i ranjivih sustava. Također detaljno sam upoznala prirodu i probleme ostala dva istraživana hidrogeološka sustava, Vransko jezero na otoku Cresu i Bokanjačko blato kod Zadra čime je obogaćeno moje iskustveno znanje. Sva tri područja istraživanja obrađena su iz klimatološkog aspekta od strane istraživača iz Državnog hidrometeorološkog zavod i hidrološkog aspekta od strane istraživača s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Na taj način upoznata sam s procesom prikupljanja i obrade podataka istraživača drugih znanstvenih grana čije rezultate nerijetko koristim u svom istraživačkom radom. Time je projekt UKV uvelike doprinio mojoj kritičnosti i razumijevanju zajedničke interpretacije određenog područja.

Uz stečena znanja, kroz projekt UKV imala sam čast upoznati vrhunske stručnjake iz područja hidrologije, hidrogeologije, klimatologije i geokemije tla u Republici Hrvatskoj i biti član sjajnog tim pod predanim vodstvom dr.sc. Ranka Biondića i ostalih suradnika Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu iz Varaždina. Provedba projekta vrlo uspješno dovedena je do svog kraja po svim zadanim točkama usprkos brojnim izazovima uvjetovanim pandemijom COVID-19.

Igor Tošić, mag.ing.geoing. (Hrvatske vode)

Na završnoj konferenciji projekta "Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV)" dobio sam uvid u sve rezultate i značaj projekta za ovu problematiku. Generalni dojam je da je projekt koristan i uspješan u provedbi i koordinaciji svih projektnih partnera.

Radim u vodnom gospodarstvu i uz upravljanje površinskim vodama, područje interesa i znanstvenog djelovanja mi je vezano i uz zaštitu i upravljanje podzemnim vodama. Na temu utjecaja zasljenjenja na priobalni krški vodonosnik Bokanjac-Poličnik sam pisao specijalistički završni rad na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije.

S obzirom da mi je stručno-znanstveno djelovanje u zadnjih nekoliko godina povezano s upravljanjem podzemnim vodama koja su prema Planu upravljanja vodnim područjima u lošem stanju, u rezultatima projekta prepoznao sam nove metode upravljanja podzemnim vodama. Date su smjernice za daljnje nekonvencionalne metode daljinskog upravljanja, detaljnijih analiza ranjivosti te operativnog i istraživačkog monitoringa s dužim vremenskim nizom opažanja. U ovim izazovima, posebno uz rastući utjecaj klimatskih promjena na hidrološke i hidrogeološke karakteristike slivnog područja, vjerujem da znanstvena i stručna zajednica može dati vrijedan doprinos poput ovakvih projekata i u budućnosti.