

STUDIJA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA ZDRAVSTVO

Autorica:

Izv. prof. dr. sc. Darija Vukić Lušić, dipl. sanit. ing.



Rijeka, srpanj 2022.



Naziv dokumenta: STUDIJA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA ZDRAVSTVO

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

Izvor financiranja projekta: Projekt sufinancira Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj
Operativni program "Konkurentnost i kohezija" 2014.-2020.
Shema za jačanje primijenjenih istraživanja za mjere prilagodbe klimatskim promjenama

Naručitelj: Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet – partner u projektu

Voditelj projektnih aktivnosti za nadležnog partnera u projektu Izv. prof. dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ.

Izvršitelj: Izv. prof. dr. sc. Darija Vukić Lušić, dipl. sanit. ing.

Ugovor: KLASA: 121-12/22-01/10
URBROJ: 2170-57-02-00-22-01
Dana 6. lipnja 2022.

Rijeka, srpanj 2022.



SADRŽAJ:

1	UVOD.....	1
2	ZAKONODAVNI OKVIR.....	4
2.1	Hrvatska	4
2.1.1	Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja	4
2.1.2	Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu	4
2.1.3	Akcijski plan	4
2.2	Europska unija	5
2.2.1	Europski zeleni plan	5
2.2.2	Europski zakon o klimi	5
2.2.3	Ostali relevantni EU dokumenti.....	5
3	PRETHODNA SAZNANJA O UTJECAJIMA KLIMATSKIH PROMJENA NA ZDRAVSTVO S NAGLASKOM NA PROMJENE VEZANE UZ VODNE RESURSE	7
3.1	Smanjenje vodnih zaliha i povećanja rizika od učestalijih pojava zaslanjivanja izvorišta pitke vode.....	7
3.2	Pojava povećanih mutnoća izvorišne vode	9
3.2.1	Hidrične bolesti.....	10
3.2.2	Indikatori fekalnog onečišćenja	10
3.2.3	Ukupni broj kolonija	12
4	ANALIZA STANJA I STUDIJE SLUČAJA SPECIFIČNIH MANIFESTACIJA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA ZDRAVSTVO	14
4.1	Utjecaj klimatskih promjena na promjene kakvoće vode za vodoopskrbu tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja i uz to vezani zdravstveni rizici	14
4.1.1	Područje Bokanjac – Poličnik.....	14
4.1.2	Blatsko polje na Korčuli	17
4.1.3	Vransko jezero na Cresu	19
4.2	Utjecaj klimatskih promjena na pojave ekstremnih stanja velikih voda na vodnim resursima i uz to vezani zdravstveni rizici	24
4.2.1	Uvodno o utjecajima velikih voda na kakvoću voda izvorišta vodoopskrbe	24
4.2.2	Izvorišta na širem području grada Rijeke	27
4.2.3	Izvor Rakonek u Istri	33
4.3	Utjecaj klimatskih promjena na promjenu kakvoća priobalnog mora na plažama i uz to vezani zdravstveni rizici.....	38
4.3.1	Područje ušća rijeke Krke kod Šibenika	38
5	PRIJEDLOZI MJERA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA STANJA VODNIH RESURSA ZA SEKTOR ZDRAVSTVA.....	45
6	LITERATURA	46

1 UVOD

Glavni utjecaji klimatskih promjena, posebno uslijed povećanja učestalosti i trajanja ekstremnih vremenskih uvjeta ali i drugih bitnih klimatskih pokazatelja su slijedeći: povećanje smrtnosti, promjene u epidemiologiji kroničnih nezaraznih bolesti i akutnih zaraznih bolesti, pogoršanje kvalitete svih sastavnica okoliša, zraka, tla, vode, ugrožavanje sigurnosti hrane i vode za piće te pojava brojnih štetnih čimbenika u okolišu. Vruća i sušna ljeta s dužim toplinskim valovima predstavljat će opasnost za starije i kronične bolesnike koji boluju od kardiovaskularnih bolesti. Produžena vegetacijska sezona utjecat će na povećanje broja akutnih i kroničnih bolesti dišnih organa uslijed povećane koncentracije alergene peludi u zraku. To su uvjeti koji pogoduju i širenju želučano-crijevnih bolesti koje se prenose hranom ili vodom.

Promjene klimatsko-meteoroloških uvjeta povećat će ranjivost stanovništva, posebno određenih skupina u populaciji (starije osobe, djeca, kronični bolesnici), povećat će se broj slučajeva prerane smrti, što će biti posebno izraženo u urbanim sredinama. Niski tlak zraka tijekom zimske sezone, južno strujanje, nestabilno vrijeme s kišom, oblacima i vjetrom nepovoljno će djelovati na osobe s bolestima krvožilnog sustava. Do najvećeg pogoršanja doći će kod bolesti koje su već prisutne (EEA, 2017). Cijeloj populaciji pogoršat će se kvaliteta života, povećat će se broj hitnih prijema i hospitalizacija uz učestalija stanja s mentalnim problemima. Okolišni čimbenici (meteorološki i klimatološki) utjecat će na višestruko povećanje troškova pružanja zdravstvene zaštite.

Navedene pojave, uz ostale čimbenike okoliša (smanjena sigurnost hrane, pogoršanje kvalitete zraka i tla), imaju negativan učinak na zdravlje ljudi a njihovo praćenje zahtjeva multidisciplinarni pristup. Za točniju procjenu opsega posljedica nužna je sveobuhvatna analiza podataka dobivenih ispitivanjem različitih sastavnica okoliša (tlo, voda, zrak, hrana). Nedovoljno sustavan i opsežan monitoring indikatorskih pokazatelja unutar različitih znanstvenih polja, predstavlja značajnu ranjivost sektora zdravstva. Nedostatno povezivanje rezultata okolišnog monitoringa (ispitivanje vode, zraka, tla, hrane, otpada) i humanog monitoringa (praćenje opterećenja ljudi čimbenicima iz okoliša, ispitivanje humanih uzoraka na metale, polumetale, mikrotoksine, postojane onečišćujuće tvari), jedna je od slabih karika u lancu.

Ekstremno visoke temperature imaju značajni utjecaj na ljude u umjerenom klimatskom pojasu dok ekstremno niske temperature imaju veći utjecaj na ljude u suptropskim regijama (Lin i sur., 2013). Snižena razina sigurnosti vode za piće uslijed mikrobiološke i kemijske kontaminacije, kao posljedica promijenjenih makroklimatskih i mikroklimatskih uvjeta predstavlja značajnu ranjivost i buduće opterećenje zdravstvenog sustava. Očekuje se manja dostupnost vodenih zaliha uz smanjenu obnovu podzemnih zaliha te značajnije iskorištavanje izvora (Santini i sur., 2014). Povišena temperatura u okolišu te unutar sustava distribucije vode (od zahvata vode, crpljenja, obrade, vodosprema, distribucijske mreže) utječe na pojavnost i koncentraciju uzročnika bolesti: bakterija, virusa, plijesni, parazita. Uslijed formiranja biofilmova na stjenkama cjevovoda te rasta uzročnika bolesti unutar ameba, povećava se njihova otpornost

na tradicionalne metode dezinfekcije i tehnološku obradu vode (Marchesi i sur., 2011). Nedovoljno multidisciplinarno postupanje u slučaju pojave bakterijskih sojeva adaptiranih na nove uvjete (*Legionella*, *Pseudomonas*), predstavlja ranjivost koja ima velike zdravstvene i ekonomske posljedice. Kao posljedica zagrijavanja površine vode te pojačanog ispiranja sliva tijekom jakih kiša, javlja se zakiseljavanje i deoksigenacija slatkovodnih ekosustava, uz pojave visokih vrijednosti mutnoće vode (Dorner i sur., 2007).

Duža razdoblja s povišenom temperaturom zraka utjecat će na učestaliju pojavu i promjene u širenju bolesti koje prenose vektori (organizmi prijenosnici uzročnika bolesti poput komaraca, krpelja i dr.). Promjena klimatsko-meteoroloških uvjeta mijenja životni ciklus vektora te povećava njihovu otpornost na sredstva kontrole, što može dovesti do promjena u obolijevanju od novih (emergentnih) ili prethodno iskorijenjenih (re-emergentnih) zaraznih vektorskih bolesti. Područja pogodna za nastanjanje prijenosnika bolesti širit će se izvan njihovih prirodnih staništa. Očekuje se učestalija pojavnost malarije u tradicionalno hladnijim predjelima Afrike, Azije i Južne Amerike dok se u Hrvatskoj očekuje veća ugroženost priobalnog dijela. Azijski tigrasti komarac (*Aedes albopictus*), koji prenosi denga groznicu, virus Chikungunya groznice i Zika virus, invazivna je vrsta koja se širi u kontinentalnoj Europi, gdje se lako adaptira na promijenjene uvjete okoliša (European Environment Agency, 2017). Porast srednje godišnje temperature i blage zime dovest će do produžene aktivnosti krpelja, pomicanja visinske granice njihova pojavljivanja te češćeg prijenosa virusnog krpeljnog meningoencefalitisa, lajmske borelioze te mediteranske pjegave groznice. U hrvatskom priobalju češće je prisutan pseći krpelj (*Rhipicephalus sanguineus*) dok je u kontinentalnom području rasprostranjeniji šumski krpelj (*Ixodes ricinus*) (Krčmar, 2019). Manji broj hladnih dana tijekom hladnijeg dijela godine pogoduje naglom rastu broja sitnih glodavaca koji mogu prenositi različite patogene (npr. virus hemoragijske groznice). Klimatske promjene pogoduju slabljenju otpornosti prirodnih ekosustava što pogoduje širenju invazivnih vrsta. Može se očekivati agresivnije širenje alergogenih invazivnih vrsta, kao što je primjerice ambrozija.

Tijekom poplava zbog povećanog površinskog otjecanja i erozije, u površinske vodene ekosustave unose se veće količine nutrijenata, što ubrzava proces eutrofikacije te dovodi do promjena u fitoplanktonskoj zajednici. Vodena tijela tada su podložnija pojavi cvjetanja algi, od kojih neke vrste alga mogu biti toksične. Područje Mediterana istaknuto je kao posebno osjetljivo na klimatske promjene (Fischer i Schär, 2010). Povećan unos otopljene organske tvari tijekom ekstremnih kišnih pojava smanjuje reduktivno djelovanje sunčevog zračenja na patogene (Williamson i sur., 2017). Povišenje temperature površine mora pogoduje širenju područja u kojima vladaju uvjeti pogodni za razvoj patogena te širenje hidrinih bolesti, kao što je to slučaj s *Vibrio cholerae* (Escobar i sur., 2015). U umjerenim klimatskim zonama brojne vrste fitoplanktona cvjetaju u ograničenim razdobljima godine, a globalno zatopljenje širi ta područja prema polovima. Također, putem balastnih voda moguće je uvođenje neautohtonih vrsta (MarBEF project, 2022). Ti organizmi mogu iznimno štetiti ekosustavu, narušiti prirodnu bioraznolikost te predstavljati rizik za ljudsko zdravlje. To su virusi i bakterije, dinoflagelati, dijetomeje i drugi protisti, zooplankton, bentičke ribe, u različitim razvojnim oblicima (jajašca, spore, ciste i larve). Neke vrste mogu biti toksične (80 vrsta fitoplanktona), s ozbiljnim posljedicama za zdravlje ljudi (paralitičko trovanje školjkama, neurotoksično trovanje školjkama), dok druge spadaju u alohtone, nezavičajne vrste od kojih su neke invazivne. Invazivne vrste unesene u novi okoliš

pokazuju veću agresivnost u odnosu na domicilne vrste, nemaju predatora i grabežljivaca, stoga ako prežive razmnožavaju se velikom brzinom (Werschkun i sur., 2014).

Povećanje količine oborina utječe na uvjete uzgoja i skladištenja hrane; povećavaju se rizici kontaminacije hrane, poput povećanja koncentracije mikotoksina u žitaricama zbog povećanja oborina i vlage. Zbog klimatoloških varijacija biti će sve teže sveobuhvatno predvidjeti i pratiti pokazatelje novih rizika s aspekta sigurnosti hrane. Smanjenje dostupnosti vode povećava cijenu osiguravanja zdravstveno ispravne hrane, što dovodi do potrebe za sve većim ulaganjima u proizvodnju hrane.

Očekivane promjene u Hrvatskoj su: porast broja dana s temperaturom višom od 30 °C (vrućina), porast minimalnih temperatura (sjeverna Hrvatska, Gorski kotar), smanjenje brzine vjetra, značajna izmjena sezonskog kretanja i količine oborina (najveće povećanje zimi na otocima srednje Dalmacije, najveće smanjenje ljeti na jugu); porast specifične vlažnosti u svim područjima, smanjenje snježnog pokrivača (Eptisa Adria, 2017).

U predmetnoj studiji prikazani su rezultati analiza stanja i procjene rizika njihova pogoršanja, vezano za gore opisane pojave na nekoliko pilot područja u Hrvatskoj. Tri pilot područja su neposredno vezana uz projekt Upravljanje krškim vodonosnicima (UKV): 1) Bokanjac – Poličnik kod Zadra, 2) Blatsko polje na Korčuli te 3) Vransko jezero na Cresu. Na primjeru navedenih pilot područja prikazani su mogući utjecaji klimatskih promjena na povećanje zdravstvenih rizika uslijed smanjenja vodnih zaliha i povećanja rizika od učestalijih pojava zaslanjivanja izvorišta pitke vode. Dodatno, studijom su obuhvaćena i tri druga krška područja u Hrvatskoj, na kojima su utjecaji specifičnih pojava na sektor zdravstva izraženiji nego u spomenutim pilot područjima: 1) izvorišta na području Rijeke 2) izvorišta na području Istre te 3) područje ušća rijeke Krke kod Šibenika. Na tim je primjerima pokazan mogući negativni utjecaj na zdravstvo izazvan pojavama velikih voda te s njima povezanim pojavama povećanih mutnoća voda (za izvorišta) kao i utjecaj klimatskih promjena na kakvoću priobalnog mora na plažama i s time povezanih zdravstvenih rizika (područje Šibenika).

2 ZAKONODAVNI OKVIR

2.1 Hrvatska

2.1.1 Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja

Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja ([NN 127/19](#)) određuje nadležnost i odgovornost za ublažavanje klimatskih promjena, prilagodbu klimatskim promjenama i zaštitu ozonskog sloja.

2.1.2 Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu

Hrvatski sabor je dana 7. travnja 2020. usvojio Strategiju prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu ([NN 46/2020](#)). Riječ je se o prvom strateškom dokumentu koji daje procjenu promjene klime za Hrvatsku do kraja 2040. i 2070. godine, moguće utjecaje i procjene ranjivosti. U obzir uzima sljedeće klimatske parametre: oborine, snježni pokrov, površinsko otjecanje, temperaturu zraka, ekstremne vremenske uvjete, vjetar, evapotranspiraciju, vlažnost zraka, vlažnost tla, sunčano zračenje i srednju razinu mora. U Strategiji je prikazana i ranjivost sektora na klimatske promjene, među kojima je odabrano osam ključnih sektora (vodni resursi; poljoprivreda; šumarstvo; ribarstvo; bioraznolikost; energetika; turizam i zdravlje) i dva međusektorska tematska područja (prostorno planiranje i uređenje te upravljanje rizicima). Za njih su navedene 83 mjere prilagodbe klimatskim promjenama koje su raspodijeljene u pet skupina. Strategija prilagodbe provodit će se akcijskim planovima koji će sadržavati razradu konkretnih mjera i aktivnosti komplementarnih s ciljevima iz Europskog zelenog plana. U predmetnoj strategiji vidan značaj dan je upravo sektoru zdravlja/zdravstva, gdje je u kontekstu povezanosti s vodnim resursima istaknuto da „može se očekivati niža razina sigurnosti vode za ljudsku potrošnju zbog snižene dostupnosti i povećanog iskorištavanja izvora. Utjecaj klimatskih uvjeta važan je zbog indirektnog utjecaja na površinske vode i vode za rekreaciju, posebno u slučaju nepravilno riješenih sustava opskrbe ili odvodnje (otpadnih i slivnih voda). Utjecaj morske vode na zdravlje značajan je ne samo zbog porasta temperature mora i npr. porasta cvatnje toksičnih algi, već i zbog procesa eutrofikacije do kojeg dolazi zbog velike količine organske tvari koja dospijeva u morski ekosustav ljudskim djelovanjem.“

2.1.3 Akcijski plan

[Akcijski plan](#) sadrži prioritetne mjere proizašle iz Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama za petogodišnje razdoblje od 2019. do 2023. godine. Akcijski plan za navedeno razdoblje sadrži ukupno 42 mjere, od kojih svaka ima po više planiranih aktivnosti, pa tako i u domeni sektora zdravlja/zdravstva.

2.2 Europska unija

2.2.1 Europski zeleni plan

[Europski zeleni plan](#) predstavlja putokaz za postizanje klimatske neutralnosti Europe do 2050. godine. Jedan od ciljeva je definiranje pravnog okvira za klimu, koji je 2021. godine postao pravno obvezujući za sve države EU-a. Zakonodavstvo koje će Europi omogućiti postizanje ciljeva Zelenog plana obuhvatit će reviziju zakona povezanih s energetsom učinkovitošću, obnovljivim izvorima energije, ETS-om (Sustav trgovine emisijama stakleničkih plinova, ETS od eng. Emissions trading system), mehanizmom za graničnu prilagodbu emisija ugljika i emisijom CO₂ za nove osobne automobile i laka gospodarska vozila.

2.2.2 Europski zakon o klimi

Parlament je odobrio klimatski zakon EU-a kojim je klimatska neutralnost do 2050. postala pravno obvezujuća u EU-u i postavljen je privremeni cilj smanjenja emisija za 55% do 2030. godine.

Uredba (EU) 2021/1119 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. lipnja 2021. o uspostavi okvira za postizanje klimatske neutralnosti i o izmjeni uredaba (EZ) br. 401/2009 i (EU) 2018/1999 („[Europski zakon o klimi](#)”).

2.2.3 Ostali relevantni EU dokumenti

- [SL C 364, 28.10.2020., str. 143.](#) i [SL C 10, 11.1.2021., str. 69.](#)
- [SL C 324, 1.10.2020., str. 58.](#)
- [SL L 282, 19.10.2016., str. 4.](#)
- Direktiva 2003/87/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 13. listopada 2003. o uspostavi sustava trgovanja emisijama stakleničkih plinova unutar Unije i o izmjeni Direktive Vijeća 96/61/EZ ([SL L 275, 25.10.2003., str. 32.](#)).
- Uredba (EU) 2018/842 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o obvezujućem godišnjem smanjenju emisija stakleničkih plinova u državama članicama od 2021. do 2030. kojim se doprinosi mjerama u području klime za ispunjenje obveza u okviru Pariškog sporazuma i izmjeni Uredbe (EU) br. 525/2013 ([SL L 156, 19.6.2018., str. 26.](#)).
- Uredba (EU) 2018/841 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o uključivanju emisija i uklanjanja stakleničkih plinova iz korištenja zemljišta, prenamjene zemljišta i šumarstva u okvir za klimatsku i energetska politiku do 2030. te o izmjeni Uredbe (EU) br. 525/2013 i Odluke br. 529/2013/EU ([SL L 156, 19.6.2018., str. 1.](#)).
- Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 25. listopada 2012. o energetska učinkovitosti, izmjeni direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU i stavljanju izvan snage direktiva 2004/8/EZ i 2006/32/EZ ([SL L 315, 14.11.2012., str. 1.](#)).

- Direktiva (EU) 2018/2001 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora ([SL L 328, 21.12.2018., str. 82.](#)).
- Direktiva 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 19. svibnja 2010. o energetske svojstvima zgrada ([SL L 153, 18.6.2010., str. 13.](#)).
- Uredba (EZ) br. 401/2009 Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o Europskoj agenciji za okoliš i Europskoj informacijskoj i promatračkoj mreži za okoliš ([SL L 126, 21.5.2009., str. 13.](#)).
- Uredba (EU) 2018/1999 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o upravljanju energetske unijom i djelovanjem u području klime, izmjeni uredba (EZ) br. 663/2009 i (EZ) br. 715/2009 Europskog parlamenta i Vijeća, direktiva 94/22/EZ, 98/70/EZ, 2009/31/EZ, 2009/73/EZ, 2010/31/EU, 2012/27/EU i 2013/30/EU Europskog parlamenta i Vijeća, direktiva Vijeća 2009/119/EZ i (EU) 2015/652 te stavljanju izvan snage Uredbe (EU) br. 525/2013 Europskog parlamenta i Vijeća ([SL L 328, 21.12.2018., str. 1.](#)).
- Uredba Vijeća (EU) 2020/2094 od 14. prosinca 2020. o uspostavi Instrumenta Europske unije za oporavak radi potpore oporavku nakon krize uzrokovane bolešću COVID-19 ([SL L 433 I, 22.12.2020., str. 23.](#)).
- Uredba (EU) 2020/852 Europskog parlamenta i Vijeća od 18. lipnja 2020. o uspostavi okvira za olakšavanje održivih ulaganja i izmjeni Uredbe (EU) 2019/2088 ([SL L 198, 22.6.2020., str. 13.](#)).

3 PRETHODNA SAZNAJNA O UTJECAJIMA KLIMATSKIH PROMJENA NA ZDRAVSTVO S NAGLASKOM NA PROMJENE VEZANE UZ VODNE RESURSE

Obalni vodonosnici smatraju se vodenim resursima od iznimne važnosti obzirom na činjenicu da gotovo 50% svjetskog stanovništva živi unutar zone od nekoliko kilometara od obale i stoga vodoopskrba uvelike ovisi o njima (Gkiougkis i sur., 2021). Međutim, ovi sustavi smatraju se hidrološki osjetljivim obzirom na mogućnost prodora morske vode, kao posljedicom prekomjerne eksploatacije. Stoga korištenje ovih ekosustava za potrebe javne vodoopskrbe postaje limitirano, što je posebno izraženo u zemljama u mediteranskom okruženju (Kharroubi i sur., 2012), u kojima ograničeni vodni resursi mogu izazvati različite socio-ekonomske probleme.

Krške slivove karakteriziraju prostrane zone prikupljanja vode u planinskim područjima vrlo bogatim padalinama. Karbonatne stijene dobre vodopropusnosti omogućavaju brzu infiltraciju oborina. Stoga su podzemni tokovi u krškim vodonosnicima vrlo velike brzine, čime se povećava rizik brzog širenja onečišćenja u krškom podzemlju i pojave na samom izvoru kao i dugotrajno ispiranje zadržanih onečišćenja iz podzemlja (Geotehnički fakultet Sveučilište u Zagrebu, 2009). S druge strane, zbog kratkog zadržavanja u podzemlju mogućnost samopročišćavanja vode je smanjena. Obilne kiše i brzi prodor vode kroz krške vodonosnike nerijetko dovode do povišenja mutnoće krških izvorišta te mogućeg popratnog mikrobiološkog onečišćenja (Biondić i sur., 2016).

Mogući utjecaji klimatskih promjena na sektor zdravstva širi su nego li je to vidljivo iz prikazanih primjera na pilot područjima, stoga je prikaz problema proširen na neka dodatna područja.

3.1 Smanjenje vodnih zaliha i povećanja rizika od učestalijih pojava zaslanjivanja izvorišta pitke vode

Resursi vode od presudne su važnosti kako za razvoj društva tako i za ekosustave. Zdravlje čovjeka ovisi o sigurnoj opskrbi zdravstveno ispravnom vodom za piće. Voda je čovjeku osim za piće neophodna i za druge namjene: poljoprivreda, proizvodnju energije, plovidba, turizam, rekreacija i proizvodnja. Zbog svih navedenih potreba, pritisak na vodne resurse svakim danom se povećava, što će se vjerojatno pogoršati uslijed klimatskih promjena (EPA, 2022). U mnogim će područjima klimatske promjene dovesti do povećanja potražnje za vodom, uz istovremeno smanjenje njenih zaliha. Održavanje ove osjetljive ravnoteže predstavlja izazov pri upravljanju vodnim resursima, pri čemu se trebaju zadovoljiti potrebe rastućih zajednica, poljoprivrednika, stočara, proizvođača energije, industrije, turizma, uz istovremeno očuvanje osjetljivih ekosustava. Prema procjenama EEA (2021), u prosjeku je godišnje oko 20 % europskog teritorija i 30 % europskog stanovništva pogođeno nestašicom vode, uz trend pogoršanja sezonskog i stalnog vodnog stresa u budućnosti.

Javna vodoopskrba često je suočena s problemima kvalitete izvorišne vode te zaslanjenja izvorišta u priobalnim područjima, kao i problemima s pojavom nitrata, sulfata, teških metala, pesticida, farmaceutskih proizvoda i drugih zagađivača (EEA, 2021). Bernhardt i sur. (2021) su procijenili da je u EU potrošnja vode u kućanstvima od 112 do 159 litara/dan po osobi, s

najmanjom potrošnjom u hladnim i/ili nerazvijenim područjima, a najvećom potrošnjom u toplim i/ili razvijenim područjima. Precrpljivanje podzemnih voda u obalnim vodonosnicima može izazvati zaslanjenje podzemnih voda. Kritično niske razine podzemnih voda dopuštaju prodor gušće morske vode u obalne vodonosnike, što ove resurse čini neprikladnim za piće, a dodatno može dovesti do degradacije površinskih voda te povezanih kopnenih ekosustava. Zaslanjenje se također može pojaviti i u kopnenim izvorima, kao rezultat prekomjernog zahvaćanja, što za posljedicu ima dotok i miješanje dubljih zaslanjenih podzemnih voda s čistim podzemnim vodama (Psomas i sur., 2021).

U krškim vodonosnicima Jadranskog sliva uslijed otvorenih geoloških struktura različitog tipa, javlja se kontakt između slatke vode koja izlazi iz krških vodonosnika i slane morske vode. U tim uvjetima rastu koncentracije soli u vodi u samom vodonosniku. Pri tome se formiraju zone miješanja slatke i slane vode, čiji položaj i veličina ovise o različitim čimbenicima, kao što su hidraulički gradijent te geološka građa vodonosnika u priobalnom području (Herceg, 2019). Topljenje leda, dizanje razine mora te sve jače ciklone uzrokuju poplavljanja i zaslanjenje izvora u priobalnim područjima, što ugrožava opskrbu pitkom vodom i poljoprivredu te uzrokuje velike štete komunalne infrastrukture, osobito u priobalnim urbanim područjima (Vitali Čepo, 2022).

No 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 i sur., 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%).

Khan i sur. su u razdoblju od 2009. – 2011. godine proveli istraživanje u obalnom dijelu Bangladeša (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.

Chakraborty i sur. (2019) su utvrdili je da je salinitet vode za piće povezan s kardiovaskularnim bolestima, proljevom i boli u trbuhu.

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.

Na analiziranim pilot područjima UKV projekta najveći rizici od prekomjernog zaslanjivanja prisutni su na pilot područjima Bokanjac – Poličnik i Blatsko polje. Na tim su područjima i sada prisutna zaslanjivanja podzemnih voda, sa situacijama periodičkog prekoračenja MDK, a što je argumentirano u podtočkama 4.1.1 i 4.1.2. Kod pilot područja Vransko jezero na otoku Cresu sadržaj klorida je značajnije manji od MDK, i ne postoji opasnost da bi se u dogledno vrijeme mogao približiti graničnoj vrijednosti. Međutim, za razliku od situacije na pilot područjima Bokanjac – Poličnik i Blatsko polje, problem kod Vranskog jezera na otoku Cresu je što zbog malih godišnjih dotoka te velikog volumena jezera i vode u njegovu vodonosniku, ukoliko se u jezerskoj vodi povećaju koncentracije klorida, ne postoji mogućnost da se one u jezeru smanje na zdravstveno prihvatljive granice za dugotrajnije korištenje vode iz jezera za vodoopskrbu.

3.2 Pojava povećanih mutnoća izvorišne vode

Zbog opisanog brzog prodora površinske vode u krško podzemlje, krška izvorišta pod značajnim su rizikom od onečišćenja, što je posebno izraženo u uvjetima visokih vodnih pojava poslije dugih sušnih razdoblja (Biondić i Biondić, 2003). Iako je pretežno kakvoća vode ovih izvora dobra, u tim periodima dolazi do naglog pogoršanja kakvoće vode na izvorima, koja u pravilu traju relativno kratko. Pogoršanje kakvoće prvenstveno se odnosi na pojavu zamućenja izvorišta kao i moguće prateće bakteriološko onečišćenja, što je pojava karakteristična za sve krške izvore (Bonacci, 1987; COST Association, 1995). Osnovni izvori zagađenja izvorišta na riječkom području su urbanizacija prostora te prateće ljudske djelatnosti u slivu, naselja bez kanalizacije, propusne septičke jame ("crne jame"), propusna kanalizacija u gusto urbaniziranim dijelovima Rijeke te dionice glavnih prometnica bez riješene odvodnje zagađenih oborinskih voda (Zavod za razvoj prostorno planiranje i zaštitu čovjekova okoliša, 1997).

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 i Petrović, 2019). Također, mutnoća može biti posljedica prisustva anorganskih čestica u podzemnim vodama ili otkidanja dijelova biofilma u distribucijskom sustavu (Denic-Jukić i sur., 2012). Uglavnom je voda mutnoće manje od 5 NTU estetski prihvatljiva za potrošača (World Health Organization (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 125/2017, 39/2020), iako ova voda ne mora nužno predstavljati neposredan rizik za zdravlje ljudi.

3.2.1 Hidrične bolesti

Hidrične bolesti su stanja koja uzrokuju patogeni mikroorganizmi čiji je prijenos na neki način povezan s vodom. Načini prijenosa bolesti su:

- ingestija mikroorganizama (konzumacija vode),
- fekalno-oralni put (nečiste ruke),
- kontakt vodom onečišćenom uzročnicima kojih domaćin jedan dio životnog ciklusa živi u vodi,
- ubod insekata – vektora bolesti,
- aerosol.

Hidrične bolesti predstavljaju značajan javnozdravstveni problem u zemljama u razvoju, s velikim udjelom u morbiditetu i mortalitetu stanovništva. Posebno su ugroženi novorođenčad i djeca kod kojih lakše dođe do stanja dehidracije, a bolest se češće javlja i kod turista. Uzrokuju ih patogeni iz grupe bakterija, virusa, protozoe i helminti. Simptomi koji se najčešće javljaju su jaka dijareja koja može dovesti do dehidracije (kao kod kolere), groznica, trbušne tegobe koje traju duže vrijeme (trbušni tifus) ili u određenim slučajevima krvava dijareja (*E. coli* O157:H7). Etiologija hidričnih bolesti usko je povezana s izvorom zaraze. Primjerice, *Shigella* je prvenstveno ljudski patogen te se izbijanje šigeloze povezuje s onečišćenjem vode komunalnim otpadnim vodama. *E. coli*, *Campylobacter*, *Salmonella*, brojne protozoe i virusi uzrokuju zoonoze, a povezuju se sa stokom i divljim životinjama (WHO, 2017). U cilju kontrole pojave patogena u vodi za piće najčešće mjere su zaštita izvorišta od onečišćenja humanom i animalnom otpadnom tvari, provedba adekvatne dezinfekcije vode te zaštita vode u distribucijskoj mreži.

3.2.2 Indikatori fekalnog onečišćenja

Prisutnost i opseg fekalnog zagađenja važan je čimbenik kod ocjenjivanja kvalitete vode i opasnosti od hidričnih epidemija. Monitoring kvalitete voda za piće i voda u prirodi već više od 100 godina uključuje kvalitativno i kvantitativno dokazivanje organizama pokazatelja, koji se uobičajeno nazivaju indikatorskim organizmima.

Mikrobiološki indikator kvalitete vode je općenito organizam koji je u vodu ušao u istom trenutku kada i feces, ali se lakše identificira i kvantificira nego cijeli niz mikroorganizama koji predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi.

Nekoliko je osobina koje bi trebao zadovoljavati idealni indikator mikrobiološke kvalitete vode:

- da je prisutan u vodi samo kada je i fekalni materijal
- da mu je preživljavanje u vodi, te efikasnost odstranjivanja iz vode određenim tretmanom pročišćavanja vode, slična kao i ciljanim patogenima
- da se u fecesu ljudi i toplokrvnih životinja nalazi u velikom broju
- da se ne umnaža izvan domaćina, te da ne raste u okolišu, vodama i vodovodnim sustavima
- da se može detektirati brzo, jednostavnim metodama.

Indikatorski organizmi se prirodno, u velikoj količini izlučuju iz probavnog sustava ljudi i životinja, te putem komunalnih otpadnih voda dospijevaju u prirodne recipijente (rijeke, jezera, more). Zajedno s indikatorskim organizmima, u prirodne vode mogu dospjeti i patogene bakterije, virusi i paraziti, koji predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje. Dakle, dokaz indikatorskih bakterija u vodi rezultat je onečišćenja vode fecesom humanog ili životinjskog podrijetla, te ukazuje na moguće prisustvo patogenih mikroorganizama.

Patogeni koji se mogu širiti vodom i uzrokovati hidrične infekcije uključuju bakterije (*Salmonella typhi*, *Shigella*, *Vibrio cholerae* ...), viruse (polio, hepatitis A, Norwalk virus) i parazite (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*). Koncentracija patogena u okolišu je vrlo niska stoga njihovo dokazivanje u pravilu nije ekonomično, dugotrajno je i složeno. Iz tih razloga voda se rutinski ne testira na svaki specifični patogen, već se za procjenu zdravstvene ispravnosti koriste indikatori fekalnog onečišćenja.

Tradicionalne fekalne indikatorske bakterije (FIB) koje se primjenjuju širom svijeta su koliformne bakterije i dominantni predstavnik koliformnih bakterija *E. coli*, enterokoki te *Clostridium perfringens*, kao dodatni indikator.

3.2.2.1 Koliformne bakterije

Termin koliformne bakterije nije poznat u zvaničnoj klasifikaciji bakterija, ali je široko prihvaćen u zakonskoj regulativi o kontroli bakteriološke kvalitete voda. Koliformne bakterije su široka grupa bakterija koje potječu iz zemlje, vegetacije te iz fecesa čovjeka i toplokrvnih životinja. Primarno su nepatogene, što je prednost pri analizi uzoraka, jer ne predstavljaju opasnost za analitičara. Normalni su stanovnici probavnog trakta ljudi i toplokrvnih životinja gdje potpomažu probavi hrane, uvjetni su (oportunistički) patogeni, što znači da će se infekcija pojaviti u slučaju oslabljenog imuniteta zbog postojeće neke druge bolesti ili predispozicije za oboljenje.

Koliformne bakterije spadaju u jednu taksonomsku porodicu *Enterobacteriaceae*. To su crijevne bakterije koje čine normalnu mikrofloru probavnog sustava u ljudi i životinja. Gram-negativni su štapići, fakultativni anaerobni, a uključuju 15tak vrsta bakterija.

U različitim izvorima u literaturi, u koliformne bakterije ubrajaju se različiti rodovi iz porodice *Enterobacteriaceae*. Varijacije u definiranju rodova, koji pripadaju grupi koliforma, proistječu iz činjenice da su se tijekom razvoja mikrobioloških metoda različite tehnike, metode te podloge različitog sastava, koristile za uzgoj i identifikaciju ovih bakterija. Tako se, tijekom vremena, mijenjao sastav grupe bakterija koje su se uklapale u postojeću, aktualnu definiciju koliformnih bakterija. Neki od rodova porodice *Enterobacteriaceae* koji se najčešće smatraju koliformnim bakterijama (uz primjenu tradicionalnih metoda) navedeni su u [Tablici 1](#).

Tablica 1 Koliformne bakterije

PORODICA	ROD	VRSTA
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia coli</i>
	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	<i>Enterobacter</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
	<i>Citrobacter</i>	<i>Citrobacter freundii</i>
	<i>Serratia</i>	<i>Serratia marcescens</i>
	<i>Hafnia</i>	<i>Hafnia alevi</i>
	<i>Morganella</i>	<i>Morganella morganii</i>

3.2.2.2 *Escherichia coli*

Od svih vrsta koji pripadaju grupi koliformnih bakterija, u fecesu sisavaca najbronija je *E. coli*, te predstavlja najspecifičiji indikator fekalnog zagađenja (WHO, 2017). Spada u grupu termotolerantnih koliforma, koji toleriraju višu temperaturu kultivacije (44 °C), što ukazuje na to da su se proteini ovih bakterija adaptirali te su stabilni na temperaturi probavnog trakta ljudi i toplokrvnih životinja.

U fekalnom materijalu *E. coli* se nalazi u velikom broju (10^7 po gramu mokre težine), dok se u okolišu općenito ne javlja. Specifična identifikacija *E. coli* u vodi temelji se na inkubaciji na povišenoj temperaturi (termotoleranciji) te stvaranju indola iz triptofana, a u novijim enzimatskim metodama koristi se kemijski indikator supstrat MUG (4-methylumbelliferyl- β -D-glucuronide) za identifikaciju prisustva enzima specifičnih za *E. coli* (β -glukoronidaze). Dokaz *E. coli* u vodi za piće ukazuje na svježije fekalno onečišćenje.

3.2.2.3 Enterokoki

Enterokoki su grupa bakterija koja se najčešće preporuča kao alternativa za koliformne bakterije. Predstavljaju podgrupu fekalnih streptokoka od kojih se razlikuju po tome što imaju sposobnost rasta na podlogama pri koncentraciji NaCl od 6,5 % te su otporni na povišenu temperaturu. 1984. godine skupina enterokoka izdvojena je temeljem određivanja homologije DNA u poseban rod.

Danas ima 19 vrsta koje se ubrajaju u enterokoke, od kojih su dominantne *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans* i *E. hirae*. Ponekad se mogu dokazati i druge vrste roda *Enterococcus* te neke *Streptococcus* vrste (*S. bovis* i *S. equinus*). U praksi se najčešće termini fekalni streptokoki, enterokoki i intestinalni enterokoki smatraju sinonimima.

Općenito, pri analizi vode dokaz enterokoka smatra se dokazom fekalne kontaminacije vode. U fecesu su prisutni u nešto nižem broju u odnosu na *E. coli* (10^6 po gramu mokre težine) (Boehm i Sassoubre, 2014). U vodi, posebno morskoj, preživljavaju duže od *E. coli*. Također, pokazali su najbolju korelaciju s gastrointestinalnim smetnjama koje se javljaju kod ljudi nakon rekreacije u slatkim i morskim vodama (Byappanahalli i sur., 2012).

3.2.3 Ukupni broj kolonija

Heterotrofi se definiraju kao široka skupina mikroorganizama koja za rast zahtjeva organski izvor ugljika. Skupina heterotrofa uključuje bakterije, kvasce i plijesni. Zajedničkim imenom "broj heterotrofnih bakterija" naziva se široki spektar mikroorganizama prisutnih u vodi, koji mogu primjenom jednostavnih metoda kultivacije u definiranim uvjetima porasti na hranjivom agaru. Nazivi koji se također koriste su: "ukupan broj bakterija - UBB", "broj izraslih kolonija", "broj kolonija", "broj aerobnih mezofilnih bakterija" (eng. HPC – "heterotrophic plate count", "total viable count", "total count", "plate count", "total bacterial count", "bacterial count", "water plate count", "colony count", "aerobic, mesophilic viable bacteria", "autochthonous flora"). Dakle, termini "heterotrofi" i "broj heterotrofnih bakterija" ne predstavljaju sinonime (Allen i sur., 2004).

Mikroorganizmi koji se detektiraju kao UBB generalno uključuju organizme koji predstavljaju dio prirodno prisutne mikrobne populacije (autohtone vodene bakterije), međutim, ponekad mogu porasti i mikroorganizmi koji potječu iz određenih izvora onečišćenja, kao što su ljudske ili životinjske fekalije (alohtoni mikroorganizmi).

UBB prati kao:

- indikator efikasnosti primijenjenih tretmana prerade vode (koagulacija, flokulacija, sedimentacija, filtracija i dezinfekcija), odnosno, kao indirektni pokazatelj uspješnosti uklanjanja patogena,
- mjera broja naknadno poraslih (eng. regrowth) organizama u distribucijskom sustavu nakon postupka obrade, koji mogu ali i ne moraju biti od sanitarne važnosti,
- mjera moguće interferencije (pojave lažno-negativnih rezultata) pri određivanju broja koliformnih bakterija metodama koje se temelje na fermentiranju laktoze (UBB ima ulogu surogat indikatora za koncentraciju rezidualnog klora).

U sustavima za distribuciju vode parametar UBB se prati kao pokazatelj:

- učinka filtracije ili dezinfekcije,
- uvjeta u distribucijskom sustavu (stagnacija, gubitak rezidualnog klora, povišene količine dostupnog organskog ugljika u vodi, povišena temperatura, dostupnost određenih hranjivih soli),
- kao pokazatelj uspješnosti različitih postupaka čišćenja.

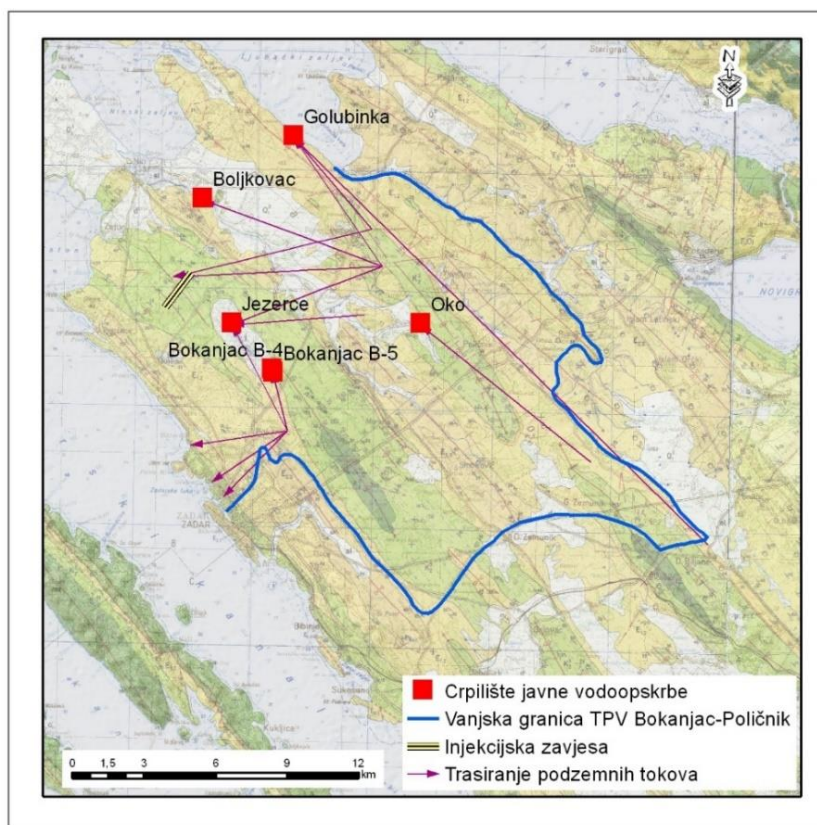
Ukupan broj bakterija u vodi koristan je podatak kojim možemo procijeniti kakvoću vode i efikasnost provedenih sanitarno – higijenskih mjera, kao i higijenske uvjete u distribucijskom sustavu. Odstupanje od maksimalno dozvoljenog broja bakterija, koji je propisan predmetnom regulativom, može ukazivati na pojavu onečišćenja, koje zahtijeva reakciju nadležnih službi (Allen et al., 2004).

4 ANALIZA STANJA I STUDIJE SLUČAJA SPECIFIČNIH MANIFESTACIJA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA ZDRAVSTVO

4.1 Utjecaj klimatskih promjena na promjene kakvoće vode za vodoopskrbu tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja i uz to vezani zdravstveni rizici

4.1.1 Područje Bokanjac – Poličnik

Područje koje obuhvaća tijelo podzemne vode (TPV) Bokanjac-Poličnik sastoji (Slika 1) se od relativno zaravnjenog područja od Ninskog i Ljubačkog zaljeva na sjeverozapadu do Gornjeg i Donjeg Zemunika na jugoistoku. Ovom TPV pripada i obalno područje od uvale Ljubač preko Nina do Zadra pri čemu je ukupna površina TPV je 302 km². Teren je položen na nadmorskim visinama od razine mora do oko 120 m n.m. U geološkom pogledu izgrađuju ga karbonatne na uzdignutijim terenima, a klastične naslage uzdužne doline. Najznačajniju depresiju površine oko 5 km² čini Bokanjačko blato, nekadašnje jezero koje je u prirodnom stanju probojem tunela 1952.g. osušeno povremeno jezero/zamočvareno područje, koje je nadalje korišteno za poljoprivrednu namjenu. Time se promijenila i dinamika kolebanja podzemnih voda te su se povećali rizici zasljanjivanja pojedinih izvorišta vodoopskrbe vezanih uz to područje a koji i inače imaju povremene probleme s povišenim koncentracijama klorida (Geotehnički fakultet, 2019).



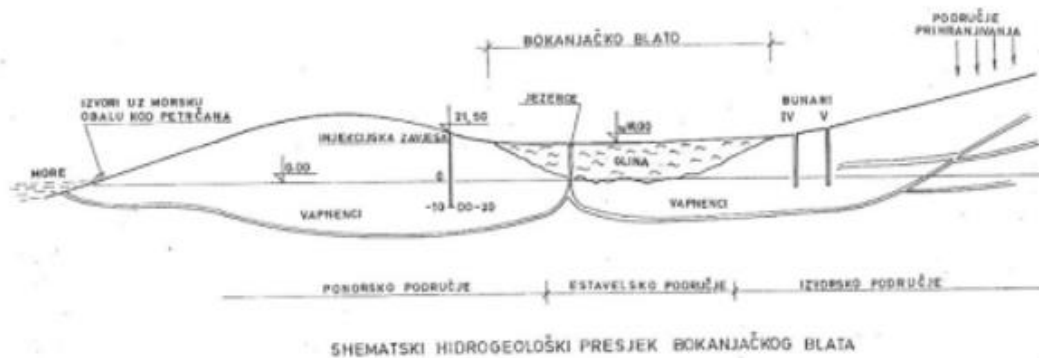
Slika 1. Područje TPV Bokanjac – Poličnik s označenim vodocrpilišima i hidrogeološkim vezama utvrđenim trasiranjima (Geotehnički fakultet, 2019)

Na području TPV Bokanjac – Poličnik postoji nekoliko crpilišta javne vodoopskrbe: Boljkovac, zdenci na crpilištu Bokanjac, Jezerce, Golubinka i Oko, koje nije više aktivno. Priobalno izvorište Golubinka je rubno smješteno, i tu se zaslanjivanja redovito javljaju kada izdašnost izvora opadne. Praktički redovito zaslanjuje i izvorište Boljkovac udaljeno čak 2,5 km od mora iz razloga što se tu isklinjava slatkovodna leća, a zaslanjivanja se javljaju i pri pojavama većih dotoka nakon dugotrajnih suša zbog narušavanja ravnoteže slane i slatke vode, pa dolazi do proširenja zone miješanja. Povremeno tijekom dugotrajnih ljetnih suša zaslanjuje i Jezerce na istoimenoj estaveli u Bokanjačkom polju, zbog čega je u cilju zaštite od prodora mora izvedena i injekcijska zavjesa (Slika 2), no bez prevelikih učinaka. Zdenci vodocrpilišta Bokanjac, koji uključuje 5 iskopanih zdenaca od kojih se koriste samo B-4 i B-5 (koji je plići pa iznimno i presušuje), smješteni na istočnom rubu Bokanjačkog blata, najstarije su vodocrpilište, i tijekom dugotrajnih suša na njima se također osjeća porast sadržaja klorida (Geotehnički fakultet, 2019).

a)

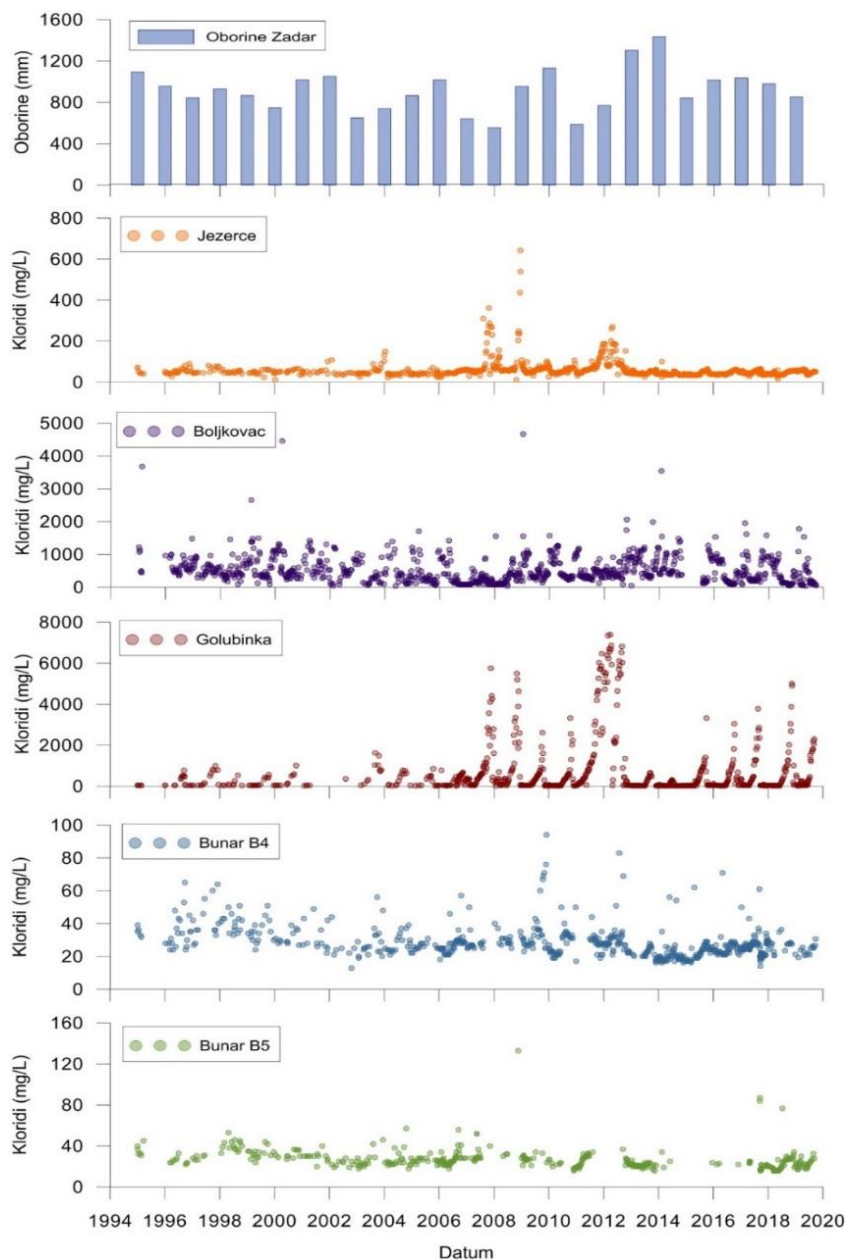


b)



Slika 2. a) Vodocrpilište Jezerce, b) shematski uzdužni hidrogeološki profil kroz Bokanjačko blato (Žugaj i sur., 1994)

Na Slici 3 dan je prikaz praćenja koncentracije klorida na navedenim vodocrpilištima iz kojeg je vidljivo da se situacije s povećanim sadržajem klorida redovito javljaju na Golubinki i Boljkovcu, a iznimno na Jezercu. U situacijama kada koncentracije klorida dosegnu maksimalno dozvoljene koncentracije (250 mg/L), crpljenja prestaju i pojačano se koriste druga izvorišta. No, s obzirom na smanjenje ukupne raspoloživosti voda na vodnim resursima uslijed djelovanja klimatskih promjena, za očekivati je da će u budućnosti sve duže trajati stanja s povišenim kloridima u pitkoj vodi, a što je prepoznato kao javno-zdravstveni rizik.

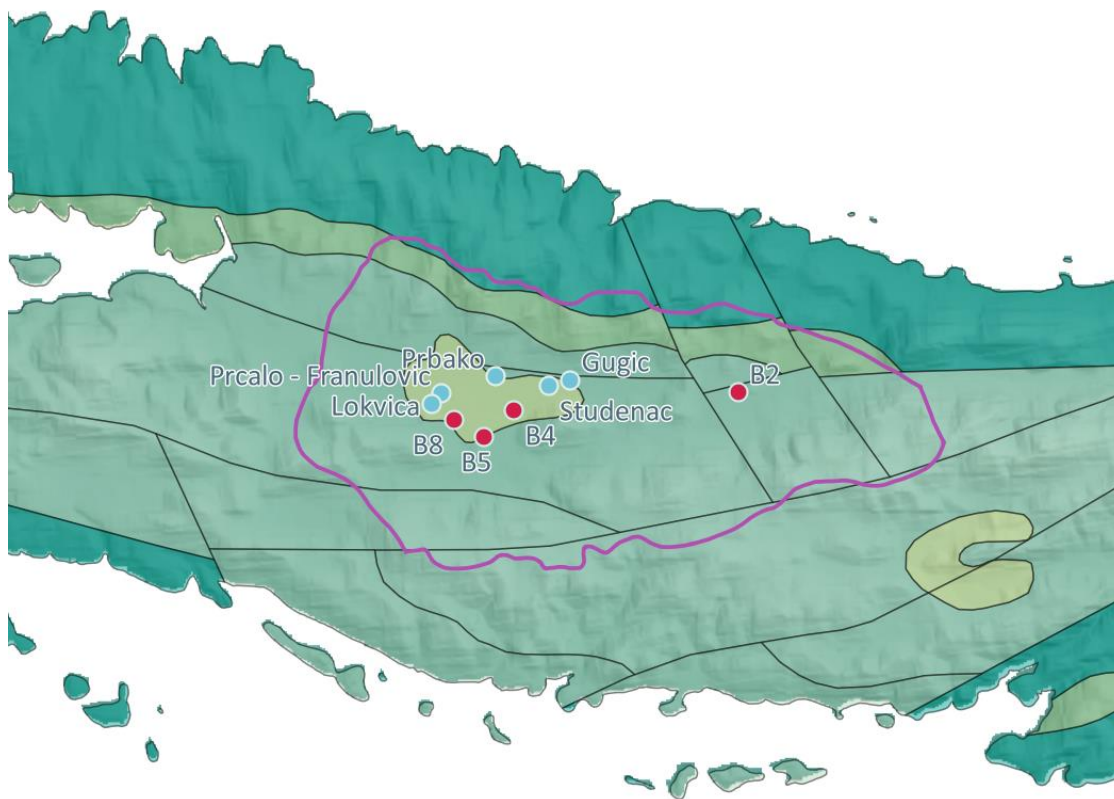


Slika 3. Prikaz ukupnih godišnjih oborina po hidrološkim godinama na postaji Zadar i uzrokovanja sadržaja klorida na vodozahvatima na području TPV Bokanjac – Poličnik, u razdoblju od 1995. do 2019. godine (Geotehnički fakultet, 2019)

4.1.2 Blatsko polje na Korčuli

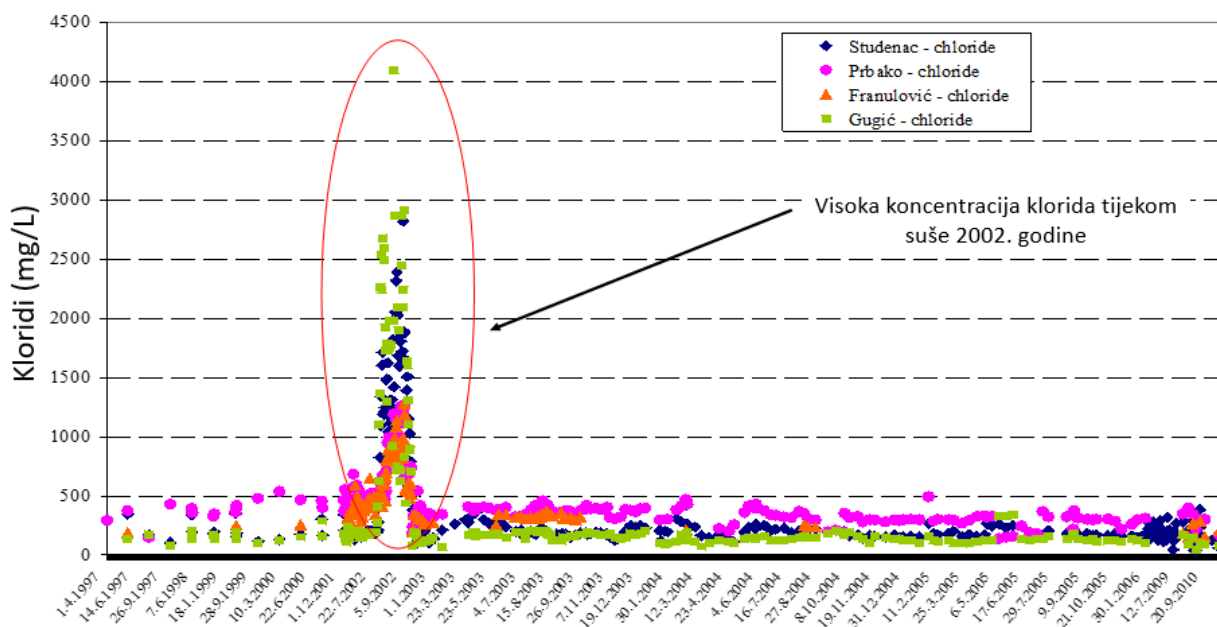
Zbog izmjene količine i sezonalnosti oborina najveći utjecaj na zdravlje ljudi uslijed nedostupnosti i onečišćenja vode za piće u Hrvatskoj se očekuje na otocima srednje i južne Dalmacije. Smanjenje količine oborina za preko 5-10% predviđeno je u ljetnom razdoblju u sjevernoj Dalmaciji i južnoj Lici (Eptisa Adria, 2017). Uz projekciju produženja trajanja turističke sezone te posljedično povećane potrošnje vode, u ovom dijelu Hrvatske mogu se očekivati češća i duža razdoblja nedostupnosti zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju. Na otocima srednje Dalmacije očekuje se povećanje količine oborina što povećava i mogućnost kontaminacije izvorišta vode. Veće količine oborina smanjuju učinkovitost pružanja svih vrsta usluga (promet, zdravstvo), što se može odraziti na povećanje broja nesreća i ozljeda.

Blatsko polje je krško polje locirano u zapadnom dijelu otoka Korčule (Slika 4), predstavlja najveće od niza krških polja koja su rasprostranjena u središnjem dijelu toga otoka. Radi se o prirodnoj depresiji, krškom polje dugačkom oko 3 km, promjenjive širine – u istočnom dijelu je široko oko 300 m, a prema zapadu se širi na oko 1 km.



Slika 4. Područje zahvata podzemnih voda na Blatkom polju na Korčuli s granicom priljevnog područja (Terzić, 2022)

Taj je prostor u prirodnom stanju periodički (uglavnom između listopada i svibnja) bio poplavljan. Takvo je jezero, odnosno zamočvareno područje obuhvaćalo površinu 1,78 km² s najvećom dubinom od 5,7 m. Godine 1912. iskopan je 2.241 m dug tunel kojim je isušeno polje, a poplavne se vode njime odvođe prema uvali Bristva lociranoj na sjevernoj strani otoka. Isušivanje polja doveli su do promjene uvjeta istjecanja i dinamike kolebanja podzemnih voda, tako da je dio nekadašnjih izvora zahvaćen u vidu bunara. Godine 1961. dovršena je izgradnja vodovoda kojim se zahvaća nekoliko bunara lociranih na Blatskom polju, a kojim se vodom opskrbljuje zapadni dio otoka Korčule. Najvažniji je Studenac, a ostali bunari uključeni u vodoopskrbni sustav su Franulović-Prčalo, Prbako i Gugić. Godišnja količina zahvaćenih voda iz tih bunara je oko 0,8 mil. m³, ali pojedinih godina zahvaća se i daleko više (oko 50%). Maksimalne zahvaćene mjesečne količine su oko 60 L/s. Voda se na spomenutim crpilištima zahvaća iz vršnog dijela vapnenačkih naslaga. U hidrogeološkom smislu vodonosnik je otvoren prema zapadu i 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. Neki od bunara povremeno zaslanjuju tijekom sušnih razdoblja, a zabilježena je iznimno sušna epizoda 2002. kada su svi bunari dugotrajno zaslanili (Slika 5).

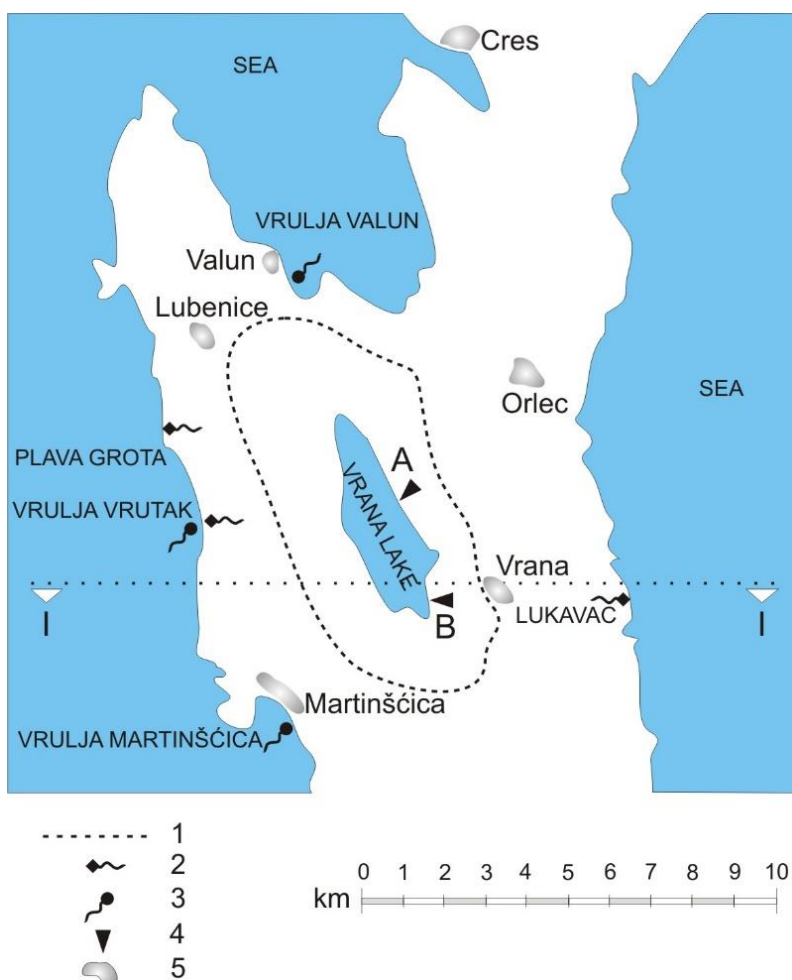


Slika 5. Prikaz rezultata praćenja sadržaja klorida na bunarima Blatskog polja (Terzić, 2022)

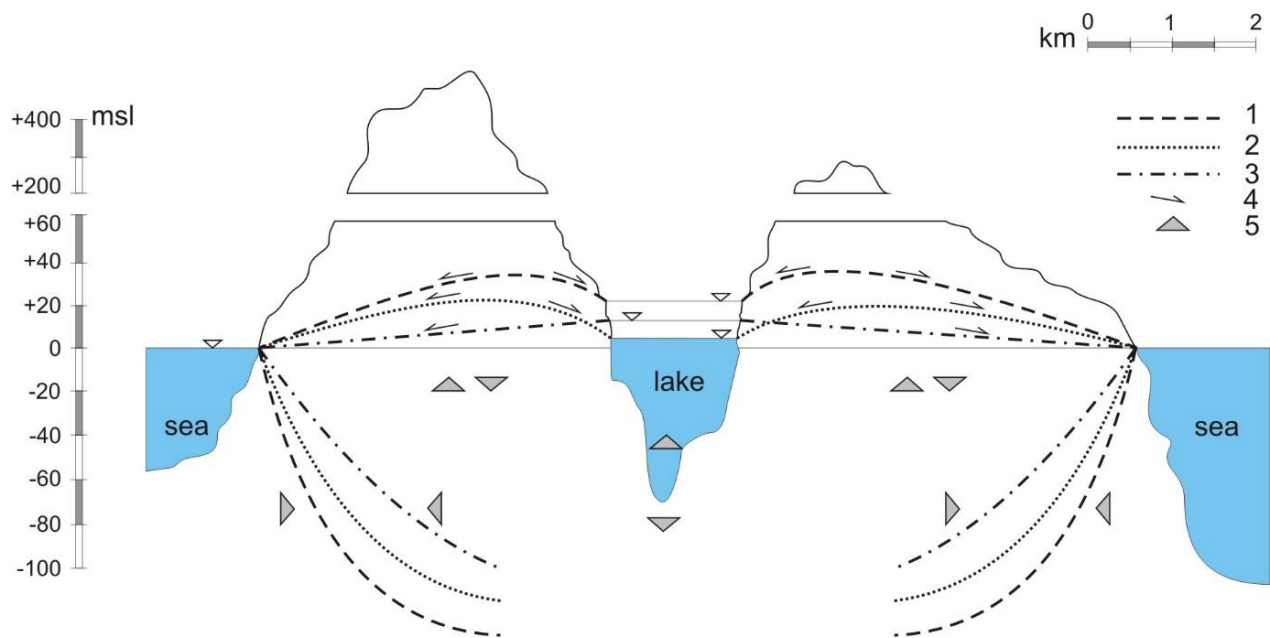
Dugotrajne situacije s povišenim zaslanjenim vodama mogu imati i negativne zdravstvene manifestacije, koje su opisane u prethodnim točkama (3.1. i 4.1.1).

4.1.3 Vransko jezero na Cresu

Vransko jezero na otoku Cresu izniman je prirodni fenomen pojave kriptodepresije (dno na koti od 61,3 m ispod razine mora) s čak oko 220 mil. m³ pitke vode na vodom vrlo deficitarnom krškom području otoka Cresa i Lošinja. Iako se nalazi na udaljenosti od svega 3-5 km od mora, jezero je slatkovodni sustav (sadržaj klorida varira u uskim granicama od oko 25 mg/L s prosjekom 58 mg/L) iz kojega se godišnje za vodoopskrbu osigurava oko 2,2 mil. m³ pitke vode izvrsne kakvoće, s vršnim dnevnim crpljenjima od oko 0,2 m³s⁻¹. Na [Slici 6](#) dan je prikaz položaja jezera u odnosu na okolno otočko područje, a na [slici Slici 7](#) poprečni presjek kroz jezero i otok sa shematskim modelom održanja ravnoteže slane i slatke vode na tom otočkom vodonosniku na principima hidrostatskog Ghyben-Herzbergerovog zakona (Verruijt, 1968), no s dodatnim elementima ovisnim o dinamici istjecanja podzemnih voda, uvjetima vezanim uz dinamičke elemente (De Weist, 1965).

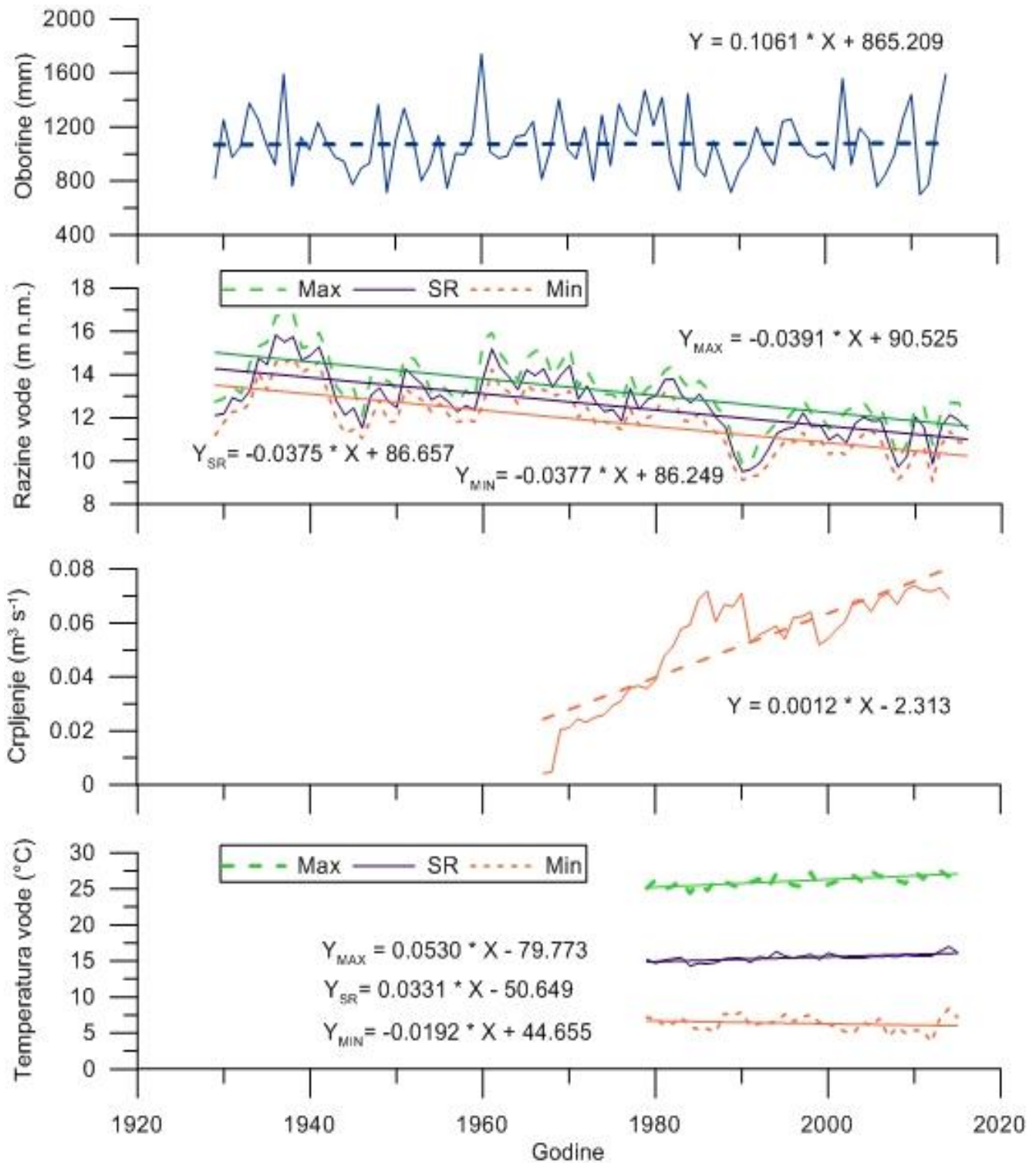


Slika 6. Položaj Vranskog jezera i njegovog sliva na otoku Cresu (Katalinić i sur., 2007), Legenda: (1) orografska granica sliva, (2) obalni bočati izvor, (3) vrulja, (4) hidrološka postaja, (5) naselje



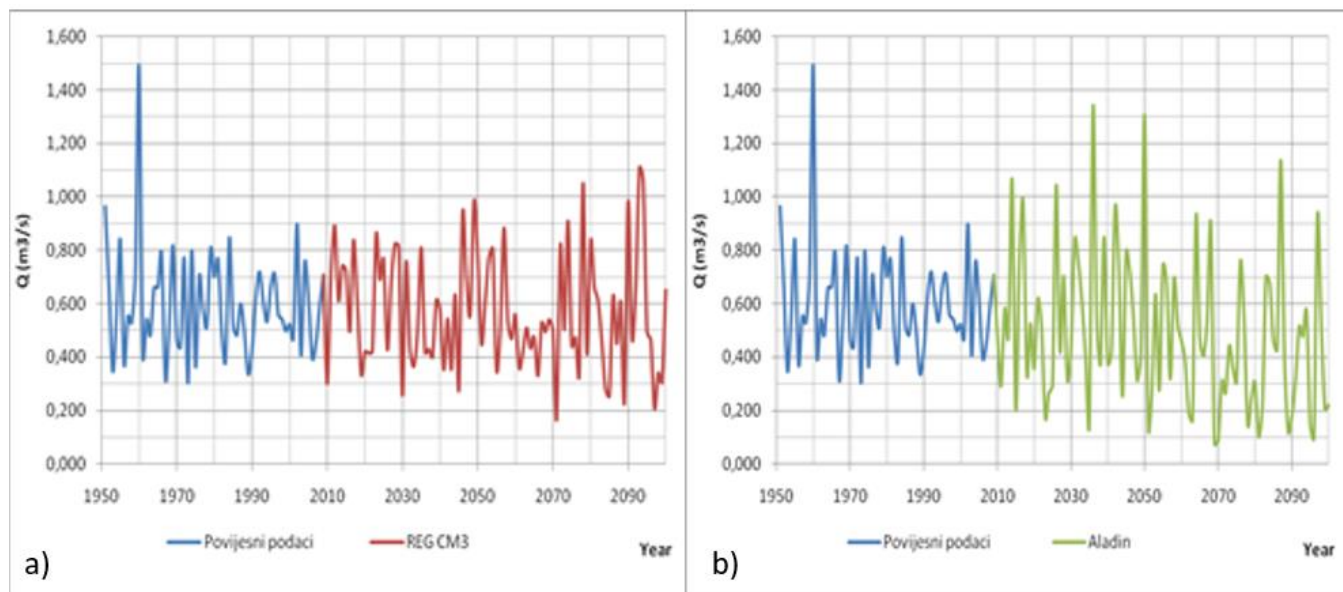
Slika 7. Profilna dionica I-I (na slici 5.) Vranskog jezera na Cresu sa shemom ravnoteže između slatke i slane vode u karakterističnim hidrološkim stanjima. Legenda: (1) hidrološki uvjeti tijekom visokog vodostaja jezera, (2) hidrološki uvjeti tijekom nižeg vodostaja jezera (3) hidrološki uvjeti tijekom sušnih razdoblja, (4) gradijenti podzemnih tokova, (5) opći smjerovi toka podzemnih voda i pomicanje granice slatka – slana voda

Monitoring stanja jezerskog sustava čiji su odabrani pokazatelji sadržani na [Slici 8](#) traje od daleke 1929. godine, od kada datiraju cjeloviti nizovi podataka o kolebanjima razine vode u jezeru i palim oborinama. Godišnje oborine variraju od 698 (2011. godine) do 1743 mm (1960. godine), a prosječno su tijekom analiziranog razdoblja 1929.-2016.) iznosile 1075 mm. Srednja razina vode u jezeru iznosi 12,64 m n.m, najveća ikad zabilježena 16,86 m n.m. (1938. godine), a najniža je iznosila 9,05 m n.m. (2012. godine). Crpljenja iz jezera za potrebe vodoopskrbe započela su još 1952. godine, prvih godina s minimalnim količinama crpljenja. Registrirani podaci sačuvani su od 1967. godine, kada je godišnji prosjek iznosio oko 4 L/s, da bi se tijekom posljednjih desetak godina prosječno godišnje crpljenje stabiliziralo na oko 70-tak L/s, sa srednjim godišnjim maksimumom od 74 L/s (2010. godine), te maksimalnim dnevnim crpljenjima od oko 200 L/s. Ukupno je do sada iz jezera iscrpljeno preko 95 mil. m³ vode, odnosno preko 40% prosječnog volumena vode u jezeru prije početka crpljenja. Ta su crpljenja utjecala na sniženje razine vode u jezeru, te uz utjecaj prisutnih klimatskih prilika (trend povećanja temperatura zraka a time i povećanja količine isparavanja s površine jezera i evapotranspiracije u slivu), uvjetovala prisustvo izrazitog trenda opadanja minimalnih razina vode u jezeru od 3,77 m/100 godina. Za razdoblje nakon 1979. godine utvrđen je i veoma izraziti trend povećanja temperatura vode u jezeru, i to srednjih godišnjih za oko 3,3 °C/100 godina, a maksimalnih od čak 5,3 °C/100 godina (Rubinić i sur., 2017).



Slika 8. Prikaz hoda odabranih hidroloških pokazatelja Vranskog jezera na otoku Cresu (1929.-2016. godine) (Rubinić et al., 2017)

Mogućnost korištenja vode iz jezera temelji se na okolnosti da se sniženjem razine vode u jezeru smanjuju i gubici vode iz jezerskog sustava. Iz jezera se, bez opasnosti od daljnjeg narušavanja ravnoteže jezerskog sustava s morem, mogu crpiti samo one količine voda za koliko su takvim crpljenjima smanjeni gubici na poniranje iz jezerskog sustava. Jezero je vrlo trom sustav pa pri tome treba voditi računa o amplitudi kolebanja razine vode u jezeru, a koja, osim o crpljenjima i gubitcima vode, ovisi i o palim oborinama i dotocima, kao i isparavanjima s površine jezera. Iako se prema Petriku (1961) smatra se da je granična minimalna razina vode u jezeru koja garantira slatkovodnu opstojnost jezera 3 m n.m., rezultati provedenih istraživanja analiza mogućeg utjecaja klimatskih promjena na jezerski sustav (Rubinić i sur., 2011) ukazuju da je u budućnosti moguće daljnje smanjivanje dotoka u jezerski sustav, a time i većega raspona oscilacija razina vode u jezeru. Pri tome su analizirani različiti klimatski scenariji, od kojih scenarij modeliran modelom RegCM3 (Pal i sur., 2007) predstavlja optimističan scenarij, a modelom Aladin (Bubnová i sur., 1995) pesimističan (Slika 9). Razlog tome je što se unatoč okolnosti da se u budućnosti (odnosno do analizirane 2100. godine) ne očekuje smanjenje godišnjih količina oborina, zbog očekivanog povećanja temperature zraka prognoziraju se povećanja evaporacije s jezerske površine te evapotranspiracije u slivu iz koga se jezero prihranjuje.



Slika 9. Prikaz vremenskog hoda srednjih godišnjih dotoka u Vransko jezero na Cresu generiranih za razdoblje 2010.-2100. modelom koji koristi klimatološke podatke procijenjene: a) modelom RegCM3, b) Aladin (Rubinić et al., 2011)

Istraživanja vezana uz razmatranje klimatskih promjena vezanih uz Vransko jezero predmet su istraživanja dvaju projekata, pred desetak godina završenog projekta CCWaterS (Rubinić et al., 2011), kao i recentnog projekta Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV) (<https://www.ukv-projekt.eu/>). Cilj je osigurati primjerenu zaštitu jezerskog sustava od zaslanjivanja, kako bi se i u budućnosti osigurala vodoopskrba bez povećanih zdravstvenih rizika i potreba desalinizacije. Naime, jezerski sustav je trom i ima iznimno velik volumen vode u odnosu na dotok (vrijeme izmjene vode preko 30 godina), pa jednom dospjele povećane koncentracije morske vode u jezerski sustav teško bi se mogle u neko dogledno vrijeme normalizirati – prije bi to bilo u nekim geološkim razdobljima a ne kalendarskim godinama. Prodor morske vode mogao bi ugroziti vodoopskrbu za preko 10.000 stanovnika otoka Cresa i Lošinja a ljeti i višestruko većeg broja turista (Državni zavod za statistiku, 2022) Također, s trajnim povećanjem udjela sadržaja morske vode u jezeru može se povećati i sadržaj bromida, a time i trihalometana (THM) – nusprodukata dezinfekcije koji dugoročno povećavaju rizik nastanka karcinoma kod ljudi (Chowdhury, 2022). Korelacijska analiza rezultata ispitivanja uzoraka vode za piće uzetih iz distribucijske mreže na području otoka Cresa i Lošinja u razdoblju 2013.-2021. godine (N=62) pokazala je značajnu korelaciju između električne vodljivosti vode i koncentracija THM, uglavnom CHClBr_2 i CHBr_3 ($r_s=0,50$ odnosno $r_s=0,36$, $p<0,05$). Osim toga, redovita konzumacija vode s višim udjelom natrijevog klorida može uzrokovati negativne učinke na kardiovaskularni sustav i prevalenciju hipertenzije (Hoque i sur., 2016). Bez planirane izgradnje objekata za desalinizaciju i kondicioniranje vode zahvaćene iz jezera, još veći prodor morske vode u jezerski sustav mogao bi ugroziti opskrbu vodom i povećati rizike za zdravlje. Još naglašeniji prodori morske vode u jezerski sustav, koji bi se naglo dogodili bez da se prije toga osigura izgradnja uređaja za desalinizaciju i kondicioniranja zahvaćene vode iz jezera, mogli bi ugroziti vodoopskrbu i povećati zdravstvene rizike zbog nemogućnosti njenoga korištenja za piće. Uz to, Vransko jezero je i poseban i vrlo vrijedan ekosustav, gdje bi takve promjene i nagle sukcesije mogle također negativno utjecati na njegovo stanje.

Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da je Vransko jezero na otoku Cresu vrlo osjetljiv vodeni sustav čija stabilnost ovisi kako o dotocima i gubicima vode iz jezerskog sustava, tako i o količini zahvaćenih voda za potrebe vodoopskrbe. Jezero za sad ne pokazuje povećane rizike od gubljenja te stabilnosti, međutim nužno je aktivno pratiti stanje jezerskog sustava, te utjecaj crpljenja na njega. Poglavitito se to odnosi na buduća stanja u uvjetima očekivanih klimatskih promjena i njihovim posljedicama na jezerski sustav u smislu smanjenja dotoka i povećanja temperature vode i isparavanja s površine jezera. Kao moguće mjere za smanjivanje rizika od prodora zaslanjene morske vode u jezerski sustav nameće se potreba uspostave dubokih osmatračkih bušotina po rubnim dijelovima jezerskog sustava kako bi se mogle pratiti promjene u dinamičkoj ravnoteži slatke i slane vode u otočkom jezerskom vodonosniku, pri čemu su dvije već uspostavljene. Uz to, potrebno je utjecati na potrošnju vode kako se ona ne bi povećavala, i to kako smanjivanjem gubitaka, tako i korištenjem sekundarnih resursa za određene kategorije korištenja – prije svega favoriziranjem korištenja kišnice i pročišćene otpadne vode za navodnjavanje u poljoprivredi i hortikulturnim površinama, kao i planiranom golf igralištu.

4.2 Utjecaj klimatskih promjena na pojave ekstremnih stanja velikih voda na vodnim resursima i uz to vezani zdravstveni rizici

4.2.1 Uvodno o utjecajima velikih voda na kakvoću voda izvorišta vodoopskrbe

Klimatske promjene nose rizike od učestalijih pojava i intenzivnijih manifestacija velikih voda na površinskim vodotocima kao i podzemnim vodnim sustavima, a time i poplavnih situacija. U priobalnim područjima taj utjecaj može biti i pojačan zbog podizanja razine mora uslijed čega se javlja i pojava uspora otjecanju velikih voda. Poplave su prirodne katastrofe koje se u praksi, u smislu smrtnosti i financijskih gubitaka, smatraju jednom od najstrašnijih prirodnih katastrofa (Javadinejad, 2022). U zemljama u razvoju, poplave su najčešće posljedica klimatskih promjena, prekomjernih oborina, izgradnje na plovnim putevima, porasta nivoa mora, režima vlage u tlu, nekontrolirano brzog rasta stanovništva, neadekvatne pripremljenosti i nedostatka političke volje (Umar i Gray, 2022). Smjernice Svjetske zdravstvene organizacije navode da klimatske promjene mogu negativno utjecati na kvalitetu vode za ljudsku potrošnju zbog sve većih i učestalijih temperaturnih ekstrema i češćih i intenzivnijih oborina koje dovode do povećanog nanošenja sedimenta i promjena u kemijskom sastavu, sadržaju ukupnog organskog ugljika i mikrobiološkoj ispravnosti vode (WHO, 2011). Bolesti koje se prenose vodom jedna su od osnovnih prijetnji javnom zdravlju širom svijeta, unatoč značajnom napretku u tehnološkom tretmanu vode za piće i otpadnih voda. Nakon poplava uglavnom prijete crijevne zarazne bolesti zbog kontaminacije životnog prostora otpadnim vodama, ali je također moguća i kontaminacija vodovodne vode. Upravo zato, najčešći i najznačajniji zdravstveni rizik povezan s pitkom vodom je kontaminacija mikroorganizmima, čije posljedice znače da njihova kontrola mora uvijek biti od najveće važnosti (Bešić i sur., 2019).

Zbog okolnosti da se izvorišta vodoopskrbe vrlo često nalaze na rubovima dolina, posebno u krškim područjima gdje se krški izvori najčešće javljaju na kontaktu karbonatnog zaleđa i aluvijalnih sedimenata, i vodozahvatne građevine su izložene pojavama poplavlivanja uslijed pojava poplavnih valova na vodotocima koji protječu dolinama. U situacijama pojave poplava to znači pojačani rizik od prekida vodoopskrbe uslijed destruktivnog djelovanja voda, ali i pojačane kontaminacije izvorišta vodoopskrbe kemijskim tvarima i bakteriološkim onečišćenjima, što dovodi do povećanih zdravstvenih rizika.

Poplave koje su sredinom svibnja 2014. godine pogodile Bosnu i Hercegovinu bile su najteže poplave u posljednjih 120 godina. Ova elementarna nepogoda pogodila je četvrtinu teritorija države i oko milion ljudi, što čini približno 27% od ukupno 3,8 miliona stanovnika Bosne i Hercegovine. Ukupna procijenjena ekonomska šteta iznosila je više od 2 milijarde Eura ili 15% ukupnog bruto domaćeg proizvoda Bosne i Hercegovine u 2014. godini (Jeleč, 2015). Općina Maglaj, koja se nalazi u Zeničko – Dobojskom Kantonu i u kojoj živi oko 25 tisuća stanovnika, bila je jedna od poplavom najpogođenijih lokacija. Stanovništvo i privreda općine Maglaj pitkom vodom se snabdijevaju iz jednog gradskog i više lokalnih vodovoda koji se nalaze na području Općine, uglavnom u seoskim naseljima. Samo 31,2% ukupnog stanovništva i javnih ustanova na području općine Maglaj je obuhvaćeno vodoopskrbom iz javnog gradskog vodovoda (The Municipality of Maglaj, 2012). Iz navedenog proizlazi da se 68,8% ukupnog stanovništva Općine,

u ruralnim područjima, pitkom vodom opskrbljuju iz lokalnih vodovodnih objekata koji nisu u nadležnosti Općinskog javnog komunalnog društva. Domaćinstva koja se snabdijevaju vlastitom vodom iz bunara i drugih lokalnih objekata za vodosnabdijevanje bez upravljanja od strane javnih poduzeća/vodovoda, nisu registrirana ili uknjižena u smislu lokacije, karakteristika izvorišta/bunara, izdašnosti i kvaliteta, niti su obuhvaćena bilo kakvim nadzorom/monitoringom od strane općine, kantonalne ili federalne institucije. U takvim okolnostima je nemoguće djelovati preventivno u slučaju elementarnih nepogoda ili incidentnih situacija koje potencijalno narušavaju kvalitetu ili izdašnost izvorišta. Osim toga nepoznate su granice vodnog akvifera, kao i podatak o potencijalnim negativnim utjecajima. Postojeće stanje se pokazalo izuzetno nepovoljnim i opasnim tijekom prirodne nesreće iz svibnja 2014. godine, kada su poplave i klizišta uzrokovale plavljenje i kontaminaciju izvorišta, prekide cijevnih vodova, urušavanja vodnih objekata, a s obzirom na neuređen sustav i organizaciju, nije bila moguća kvalitetna intervencija niti upravljanje procesom kontrole i upozoravanja.

Obzirom na specifičnosti priobalnog krškog područja u Hrvatskoj, na kome se nalaze sva tri pilot područja UKV projekta, u ovoj studiji naglasak je stavljen na zdravstvene rizike vezane uz utjecaje klimatskih promjena na promjenu dinamike pojava velikih mutnoća u vodama krških izvora. Naime, pojave mutnoća u izvorišnim vodama javljaju se pri pojavama protjecanja velikih voda, posebno ukoliko se javljaju nakon dugotrajnih sušnih razdoblja. Tada se, zbog većih brzina u podzemnim pukotinskim sustavima, u krškim vodonosnicima reaktiviraju i ranije nataloženi sedimenti te se u vidu pojačanih koncentracija mutnoća, javljaju na krškim izvorima.

Naime, prema studiji izrađenoj u okviru EU projekta ŽIVO (Zupan Hajna i sur., 2015), zahvaljujući mreži kanala i spilja nastalih kemijskim otapanjem, koja omogućava brz i često turbulentni tok vode, onečišćenja mogu lako ući u krški vodonosnik kroz tanki sloj tla ili ponora i raširiti se na velikim udaljenostima, pogotovo u tijekom promjene hidroloških uvjeta. Nagle promjene protoka praćene su promjenama u kemizmu vode koje su u funkciji prostora i vremena (Katz i sur., 1998; Mayer, 1999; Smith i Wahl, 2003; Toth, 1998). Hidrološki uvjeti kišnog perioda jako povećavaju unos oborinskih i površinskih voda, pa se drastično povećava količina i brzina kretanja vode, što za ima posljedicu miješanje voda različitog porijekla i kraće zadržavanje u vodonosniku. Prema navodima u spomenutoj studiji, sposobnost sustava da akumulira ili otpusti onečišćujuće tvari ovisi kako o režimu protoka, tako i o samoj prirodi onečišćujućih tvari (Vesper et al. 2001). Osnovne grupe onečišćujućih tvari sačinjavaju spojevi topljivi u vodi, bilo organski ili anorganski, koji se kreću zajedno s masom vode, organski spojevi slabo topljivi u vodi s gustoćom manjom od gustoće vode i kreću se ovisno o brzinama slojeva vode, organski spojevi slabo topljivi u vodi s gustoćom većom od gustoće vode koji se velikim dijelom deponiraju u sedimentu, patogeni mikroorganizmi, metali i općenito otpad, koji može biti različite veličine, oblika i porijekla. Kod prijenosa onečišćujućih tvari vrlo je važna pokretna čvrsta faza (McCarthy i Zachara, 1989), pri čemu se onečišćenje adsorbirano na čestice izbacuje na izvorima za vrijeme jakog kišnog pulsa. Sediment je u krškom vodonosniku pokretan, kako alohtoni tako i autohtoni i predstavlja vektor za transport nutrijenata i drugih onečišćujućih tvari, pogotovo metala, ugljikovodika, pesticida i bakterija (Vesper i White, 2004).

Upravo klimatske promjene generiraju sve dugotrajnije pojave sušnih razdoblja na krškim izvorištima vodoopskrbe, kao i sve intenzivnijih pojava velikih voda. Navedeno može intenzivirati

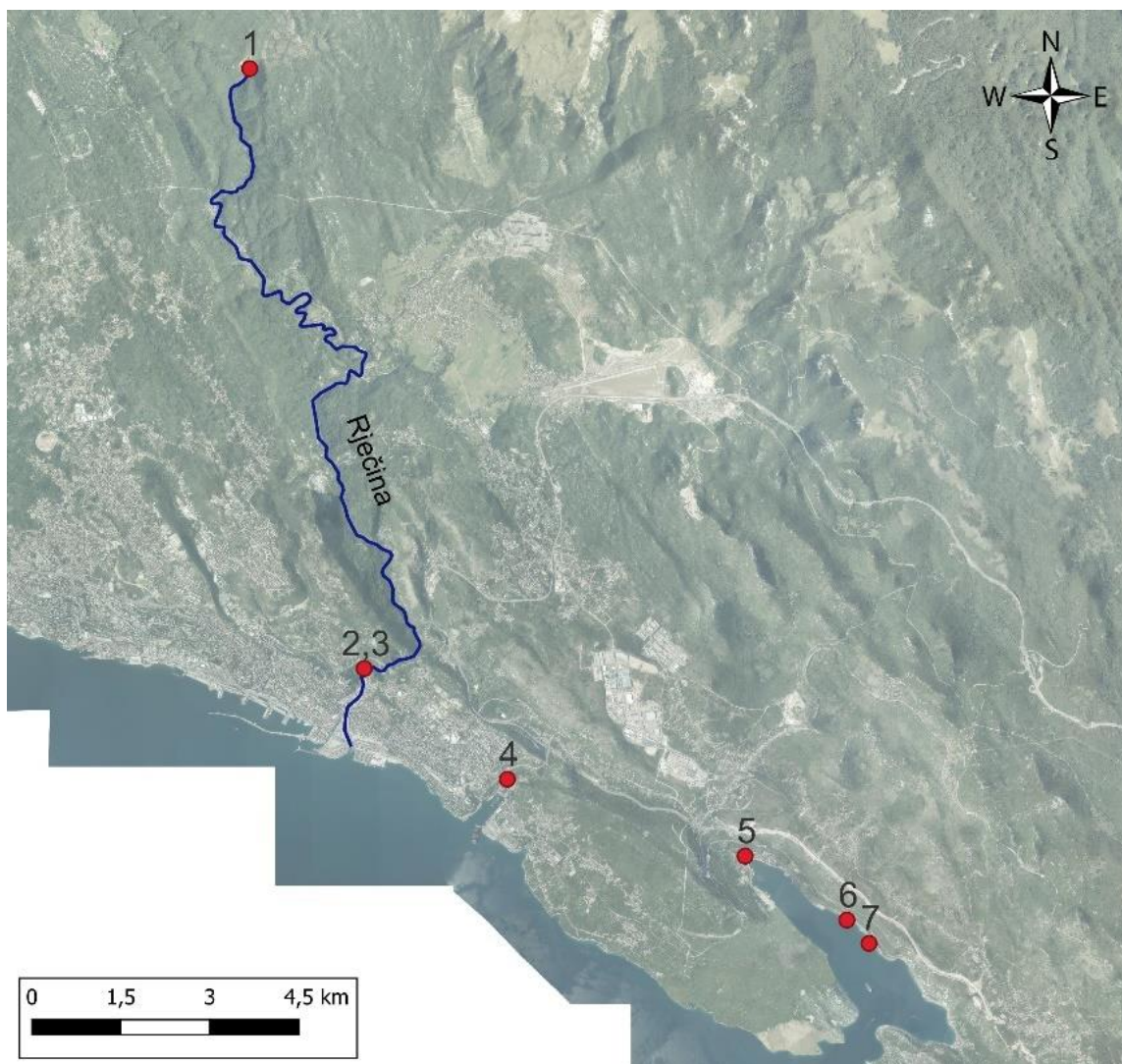
probleme s mutnoćama i njima povezanih parametara kakvoće voda, a time povećati s njima povezane zdravstvene rizike. Zahvati na pilot područjima UKV projekta uglavnom su zdenci, ili se primjerice kod Vranskog jezera radi o zahvatu iz jezera kod koga njegov volumen ublažava varijacije u mutnoćama doteklih voda tijekom pojedinih izraženijih kišnih epizoda. Stoga su u okviru ove studije detaljnije analizirane pojave povećanih mutnoća na dva obližnja područja, čije pojave mutnoće imaju različite karakteristike. U prvom se radi o u izvjesnom smislu tipičnim pojavama mutnoća na izvorštima vodoopskrbe na širem području grada Rijeke gdje se one javljaju u relativno ograničenom rasponu od 0,1–9,3 NTU prema podacima redovnog monitoringa. U slučaju pojave većih mutnoća u vodoopskrbnoj mreži, učestalo se provodi ispitivanje te se u slučaju prekoračenja granice od 4 NTU javnost obavještava putem medija o potrebi prokuhavanja vode. U drugom slučaju radi se o izvoru Rakonek u dolini rijeke Raše u Istri, gdje se zbog binarne strukture sliva (koncentrirani dotok površinskih voda s vodonepropusnog fliškog dijela sliva te raspršeni dotok uslijed palih oborina na vodopropusni karbonatni dio sliva), povremeno javljaju i pojave iznimnih mutnoća preko 10.000 NTU, a što se slikovito može vidjeti na [Slici 10](#).



Slika 10. Ekstremne mutnoće voda krških izvorišta s binarnom strukturom prihranjivanja a) Mutnoća na izvoru Rakonek zabilježena 10.11.2014. (Šarić, 2016) b) Mutnoća na izvoru Sv.Ivan zabilježena 24.6.2015.

4.2.2 Izvorišta na širem području grada Rijeke

Područje Primorsko-goranske županije obiluje podzemnim vodama krških vodnih sustava koje su glavni resurs vode za piće ovog kraja (~90 %). Podzemne vode generalno predstavljaju poželjan izvor vode za piće jer su negativni utjecaji na kakvoću podzemnih voda manje izraženi u odnosu na površinske tokove. Za vodoopskrbu grada Rijeke i riječkog prstena Komunalno društvo Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka zahvaća vode šest tipičnih krških izvorišta (Slika 11): Izvor Rječine, Zvir I, Martinšćica, Perilo, Dobra, Dobrica, a kao rezervno vodocrpilište iznimno se koristi vodozahvat podzemnih voda Zvir II. Od spomenutih izvora po svojoj izdašnosti i ulozi u vodoopskrbnom sustavu najvažniji su Izvor Rječine i Zvir I.



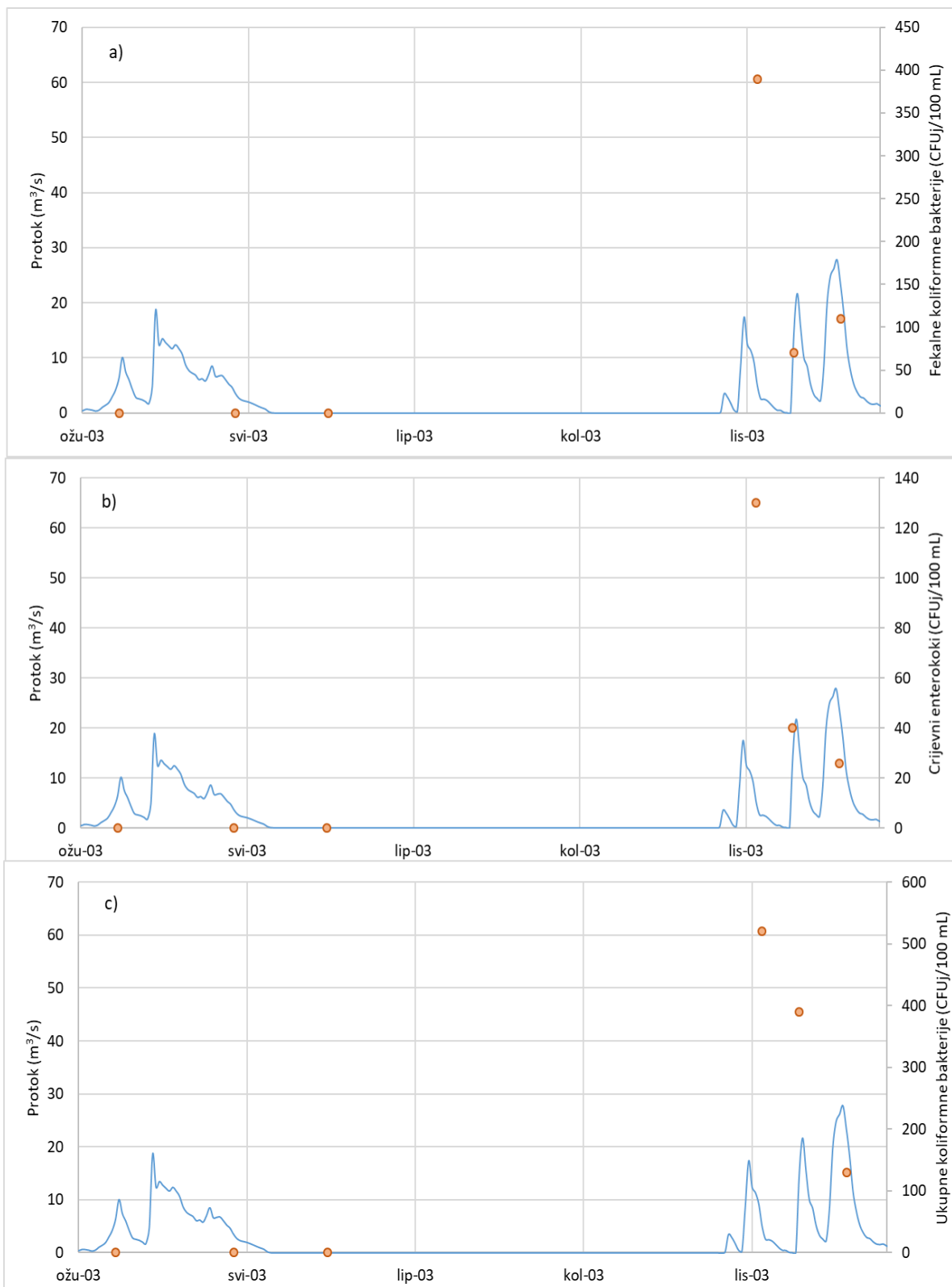
Slika 11. Položaj izvora na širem području grada Rijeke (1 – Izvor Rječine, 2- Zvir II, 3-Zvir, 4 – Martinšćica, 5 – Perilo, 6 - Dobra, 7 - Dobrica

Izvor Rječine, kojemu srednja godišnja izdašnost oko $7,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a maksimalna $63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ali u sušnom razdoblju, kada su i potrebe za vodom najveće, ovaj izvor nažalost redovito presušuje. Broj dana bez prelijevanja izvora Rječine ovisi o hidrološkim prilikama u tekućoj godini, a prosječno iznosi 2-3 mjeseca. Izvor Rječine predstavlja prelivni izvor cijelog sliva, a u periodima bez prelijevanja voda se zadržava u stalno aktivnim krškim vodonosnicima u zaleđu. Voda izvire na koti od 325 m n.m a izvor se prihranjuje iz planinskog zaleđa Rijeke koje po ukupnim količinama oborina (i do 4.000 mm) spada u najvodnija područja u Hrvatskoj (Rubinić i Sarić, 2005). Slivno područje izvora je bez razvijenih većih urbaniziranih naselja, prometnih površina i značajnih djelatnosti u slivu Stoga je voda dobrih karakteristika a bakteriološka slika se pogoršava samo za vrijeme jakih oborina nakon dužeg sušnog razdoblja. Kada god izdašnost ovog izvora omogućava, vodoopskrba grada Rijeke gotovo se u cijelosti gravitacijski veže na Izvor Rječine zbog njegovog povoljnog visinskog položaja, te se koristi do maksimalno $2,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Za vrijeme sušnih razdoblja, kada izvor Rječine smanji izdašnost ili presuši, aktiviraju se crpilišta u priobalju, a osnovni vodni resurs ovog područja postaje izvor Zvir I. Nalazi se u kanjonu uz desnu obalu Rječine u središtu grada Rijeke a vodom se opskrbljuje s područja Grobničkog polja i masiva koji prihranjuje i izvor Rječine. Najveći je stalni krški izvor Kvarnerskog zaljeva sa srednjim godišnjim protokom od $5,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, maksimumom od oko $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, te minimumom od oko $0,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Kaptažni objekat Zvir I najstariji je riječki vodoopskrbni izvor (19. st.), nikada ne presušuje te se stoga smatra kapitalnim vodnim resursom riječkog vodovoda. Dotoci vode iz dubokih vodonosnika omogućuju korištenje izvora precrpeljivanjem. Nedostatak u odnosu na Izvor Rječine je što se za potrebe vodoopskrbe voda mora crpkama transportirati na više kote i nekoliko visinskih zona, što povećava troškove. Osim toga, lokacija izvora je u samom središtu grada, vrlo blisko razini mora, što uvelike otežava njegovu zaštitu. Zato je voda izvora Zvir I konstantno bakteriološki opterećena a intenzitet onečišćenja izraženiji je u periodima obilnih padalina. To je posljedica ispiranja površine sliva i nečistoća akumuliranih u krškim vodonosnicima za vrijeme sušnih razdoblja, kao i reaktiviranja ranije nataloženih sedimenata u krškim provodnicima. Zbog toga se učestalije javljaju i povećane mutnoće, kao i bakteriološka onečišćenja posebno u uvjetima pojave protjecanja većih voda nakon dugotrajnijih sušnih razdoblja. Na [Slici 12](#) je vidljivo da su efekti ispiranja bakteriološkog onečišćenja najveći nakon prve pojave većih protoka na Izvoru Rječine, te da se kasnije, neovisno o povećanju protoka, oni umanjuju.

Krške slivove kojima pripadaju i analizirani izvori na širem području Rijeke karakteriziraju prostrane zone prikupljanja vode u planinskim područjima vrlo bogatim padalinama. Karbonatne stijene dobre vodopropusnosti omogućavaju brzu infiltraciju oborina. Stoga podzemni tokovi u krškim vodonosnicima imaju vrlo velike brzine, čime se povećava rizik brzog širenja onečišćenja u krškom podzemlju i pojave na samom izvoru kao i dugotrajno ispiranje zadržanih onečišćenja iz podzemlja. S druge strane, zbog kratkog zadržavanja u podzemlju mogućnost samopročišćavanja vode je smanjena. Osnovni izvori zagađenja su urbanizacija prostora te prateće ljudske djelatnosti u slivu, naselja bez kanalizacije, propusne septičke jame ("crne jame"), propusna kanalizacija u gusto urbaniziranim dijelovima Rijeke te dionice glavnih prometnica bez riješene odvodnje zagađenih oborinskih voda.

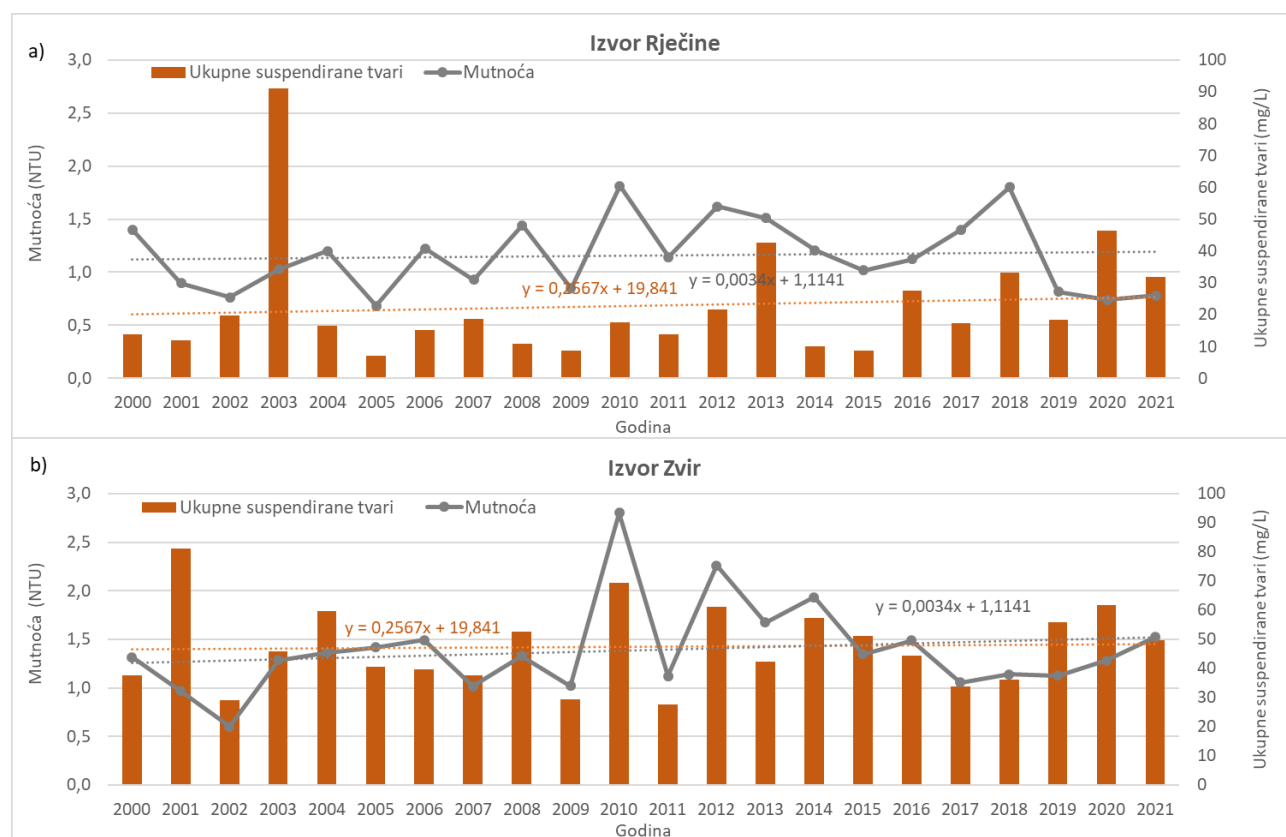
Zbog navedenih osobitosti krškog podzemlja, prisutan je visok stupanj ugroženosti, što je posebno izraženo u uvjetima visokih vodnih pojava poslije dugih sušnih razdoblja. Iako je pretežno kakvoća vode ovih izvora dobra, u tim periodima dolazi do naglog pogoršanja kakvoće vode na izvorima, koja u pravilu traju relativno kratko. Pogoršanje kakvoće prvenstveno se odnosi na pojavu замуćenja izvorišta kao i mogućeg pratećeg bakteriološkog zagađenja, što je pojava karakteristična za sve krške izvore. Mutnoću vode čine suspendirane čestice koje mogu potjecati iz samog izvora ili se mobilizirati resuspenzijom taloga pri povećanju brzine toka vode u razvodnoj mreži. Također, mutnoća može biti posljedica prisustva anorganskih čestica u podzemnim vodama ili otkidanja dijelova biofilma u distribucijskom sustavu. Uglavnom je voda mutnoće manje od 4 NTU estetski prihvatljiva za potrošača (WHO, 2017). 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 (NN 125/2017, 39/2020), iako ne mora predstavljati neposredan rizik za zdravlje ljudi.



Slika 12. Pojave mikrobiološkog onečišćenja na Izvoru Rječine nakon pojava većih voda poslije dugotrajnog ljetnog sušnog razdoblja 2013. godine a) fekalne koliformne bakterije, b) crijevni enterokoki, c) ukupne koliformne bakterije

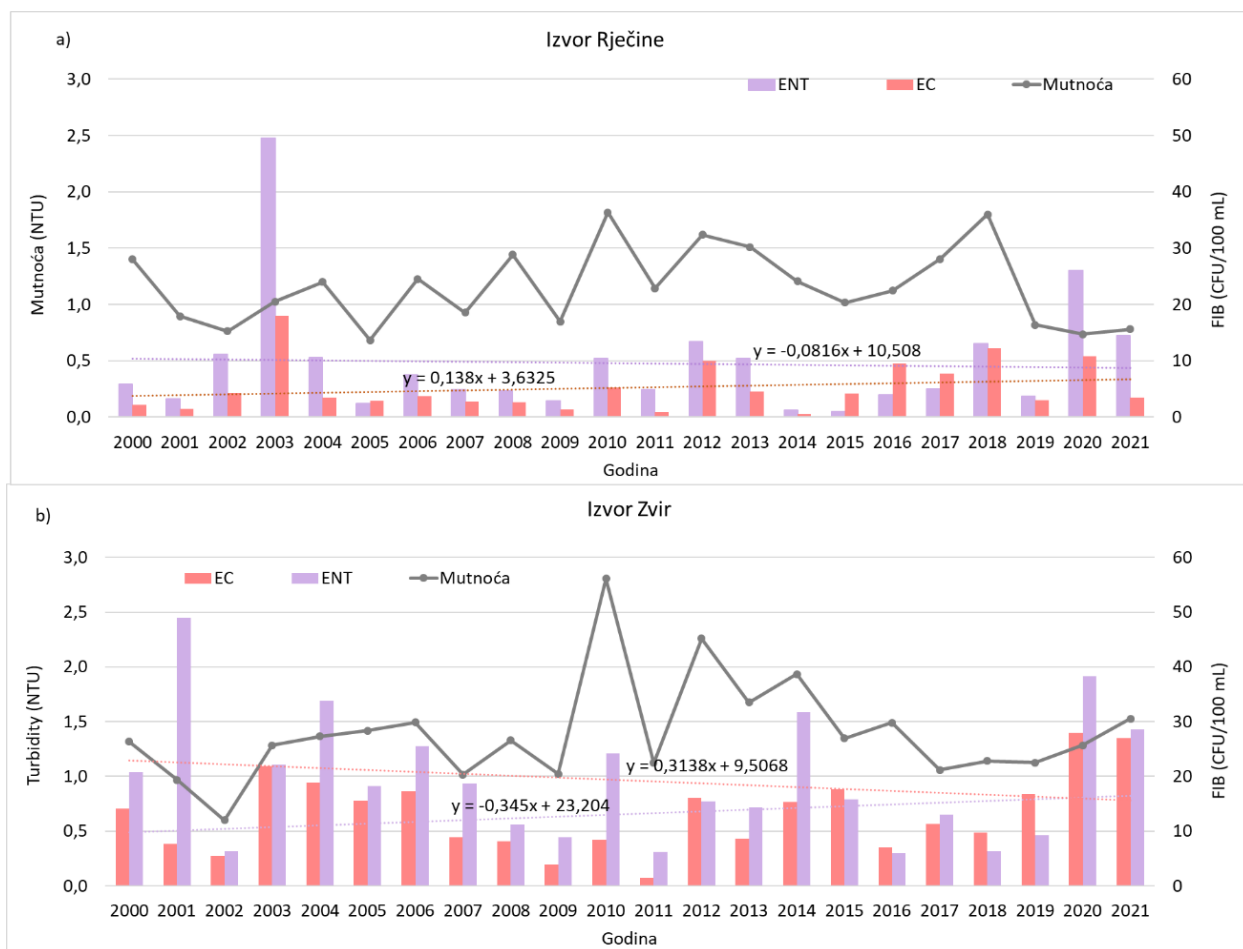
Analizirani su rezultati ispitivanja ukupno 419 uzoraka izvorske vode s izvorišta na riječkom području, 203 uzorka vode izvora Rječine te 216 uzoraka vode izvora Zvir, u razdoblju od 2000 – 2021. Mutnoća vode izvorišta Rječina kretala se je u rasponu od 0.2-10.3 NTU (srednja vrijednost 1.17, SD 1.24; median 0.8, IQR 0.5-1.4), a broj uzoraka s vrijednosti mutnoće >4 NTU bio je 6 (3.0%). Mutnoća vode izvorišta Zvir varirala je između 0.1 i 16.5 NTU (srednja vrijednost 1.40, SD 1.59; median 1.0, IQR 0.5-1.6), a u 4.2% uzoraka mutnoća je bila >4 NTU. Mutnoća vode u oba je izvorišta pozitivna korelirala sa svim ispitanim mikrobiološkim pokazateljima (HPC/22, HPC/36, EN, EC, TCB, FCB, $r_s = 0.301-0.462$, $p < 0.05$) te s otopljenim Fe ($r_s = 0.314-0.421$, $p < 0.05$). U izvorištu Zvir mutnoća je bila pozitivno povezana s ukupnim suspendiranim tvarima, (eng. Total Suspended Solids, TSS) ($r_s = 0.416$, $p < 0.05$), a u izvorištu Rječina s fenolima ($r_s = 0.233$, $p < 0.05$) i PCBs ($r_s = 0.332$, $p < 0.05$).

Na [Slici 13](#) prikazano je kretanje mutnoće i koncentracije suspendirane tvari izvorišta Rječina i Zvir. Vidljivo je da je u promatranom 22 godišnjem razdoblju u oba izvorišta prisutan trend povećanja vrijednosti mutnoće i TSS. Dobiveni rezultati su u skladu s rezultatima Margeta (2022) koji je istraživao mutnoću vode krškog izvora Jadro u Dalmaciji.



Slika 13. Mutnoća i ukupne suspendirane tvari (Total Suspended Solids, TSS) na izvoru a) Rječine i b) Zvir, u razdoblju od 2000. do 2021. godine

Trend opterećenja vode promatranih izvorišta indikatorima fekalnog onečišćenja može se pratiti na Slici 14. U oba izvora je u razdoblju od 22 godine prisutan pozitivan trend broja *Escherichia coli* a negativan trend broja enterokoka. Voda izvorišta Zvir mikrobiološki je značajno opterećenija u odnosu na izvor Rječine (Mann-Whitney U test, $Z=-6.476$, $p<0.001$). U izvoru Rječine broj crijevnih enterokoka i *Escherichia coli* kretao se je od 0-130 CFU/100 mL i 0-100 CFU/100 mL (srednja vrijednost 4.9, SD 12.4; medijan 1.0, IQR 0.0-4.0; srednja vrijednost 12.5, SD 22.8; medijan 2.0, IQR 0.0-11.0) U vodi izvora Zvir broj EN i EC varirao je 0-520 i 0-640 (srednja vrijednost 16.4, SD 45.4; medijan 4.0, IQR 0.0-12.0; srednja vrijednost 27.2, SD 73.1; median 10.0, IQR 4.0-24.0).



Slika 14. Mutnoća i fekalne indikatorske bakterije (FIB) na izvoru a) Rječina, i b) Zvir, u razdoblju od 2000. do 2021. godine

Iako povećana mutnoća vode ukazuje na moguće prisustvo mikrobiološkog i kemijskog onečišćenja, u distribucijskoj mreži grada Rijeke u razdoblju istraživanja utvrđeno je da je pri mutnoći vode većoj od 4 NTU bilo 1,6% mikrobiološki neispravnih uzoraka (N = 105/6692). Potrebno je naglasiti da je i u tom slučaju razlog neispravnosti bio povećani broj kolonija na 37

°C, što se ne smatra rizikom za zdravlje ljudi, već predstavlja parametar koji ukazuje na čistoću i stanje distribucijskog sustava. *Escherichia coli* i crijevni enterokoki, kao indikatori fekalnog zagađenja, u promatranom razdoblju nisu dokazani niti u jednom uzorku. Dodatno, povećane vrijednosti mutnoće zahtijevaju pojačanu dezinfekciju, što dovodi do stvaranja veće koncentracije nusprodukata dezinfekcije. Nadalje, osim potencijalne prisutnosti onečišćenja, mutnoća vode predstavlja estetski problem za potrošače, koji mutnoću vode percipiraju opasnom po zdravlje.

S obzirom da se u budućnosti na širem utjecajnom području Rijeke očekuje da će se klimatske promjene manifestirati u sve naglašenijim pojavama ekstrema – s jedne strane dugotrajnijih sušnih razdoblja a s druge pojavama intenzivnijih kratkotrajnih oborina. One bi se, prema provedenim analizama u okviru projekta RAINMAN (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019), ovisno o njihovom trajanju, mogle kretati u rasponu porasta između 5 i 15% za prosječni scenarij mogućih promjena, odnosno čak dvostruko više u slučaju primjene anvelope mogućih maksimalnih (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019). Takve promjene intenziteta oborina uvjetuju i naglašenije pojave velikih voda, s maksimalnim protocima koji čak prelaze spomenute %-tke povećanja intenziteta oborina, a time i očekivane efekte intenzivnijeg ispiranja onečišćenja sa sliva i njegova pronosa na izvorišta vodoopskrbe.

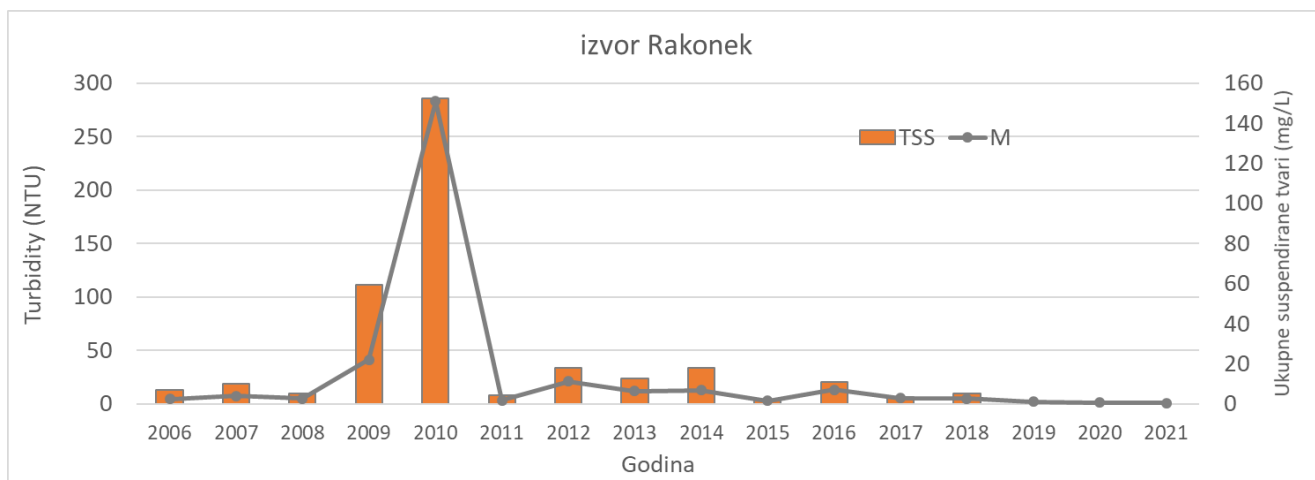
4.2.3 Izvor Rakonek u Istri

Krški izvor Rakonek je lociran u srednjem dijelu toka rijeke Raše (Slika 15). Istječe iz jezerskog oka uz rub aluvijalne doline rijeke Raše i najveći je krški izvor Vodovoda Pula. Srednji godišnji protok mu iznosi oko $0,400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, od čega oko $0,158 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ čine crpne količine, koje se u situacijama većih potražnji za vodom i raspoloživih dotoka povećavaju za još oko 100 L/s. Pojava mutnoće na ovom tipičnom krškom izvoru javlja se u vodnijim razdobljima, nakon obilnih oborina na okolnom području te na području sliva Pazinčice, s kojim je izvor neposredno povezan putem ponora Pazinčice. Ispiranjem površinskog i podpovršinskog sloja nakon sušnijeg razdoblja prihranjuje se podzemlje povećanim unosom suspendiranih tvari, koje u konačnici, uz povećanje izdašnosti, rezultira i povećanjem mutnoće izvorske vode. Pri tome znatan doprinos daju i ranije sedimentirane čestice u podzemnim okršenim tokovima, koje se pri promjeni hidroloških i hidrauličkih prilika u podzemlju i pri pojavi značajnijih oborina i otjecanja, zbog povećanih brzina podzemne vode i njezine veće kinetičke energije, ponovno pokreću i pridonose većoj zamućenosti podzemnih voda na mjestima istjecanja (Građevinski fakultet u Rijeci, 2020).



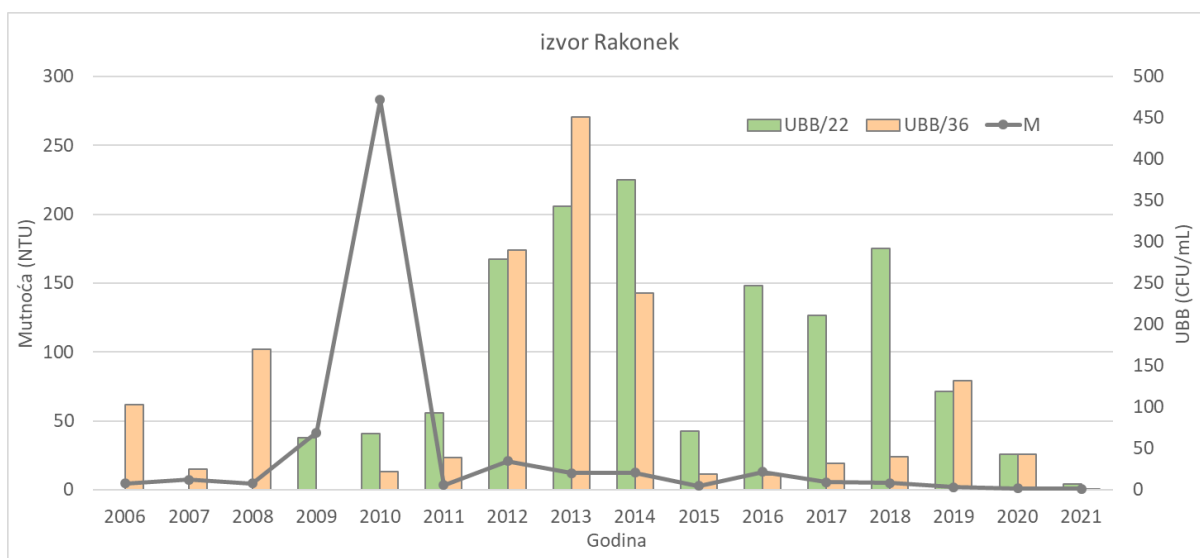
Slika 15. Situacija položaja izvora Rakonek u odnosu na tok Raše te sliv i ponor Pazinčice

Rezultati monitoringa odabranih parametara kakvoće vode koji se provodi u okviru redovnog monitoringa kakvoće izvora Rakonek od strane Hrvatskih voda prikazani su na [Slikama 16 – 18](#). Vidljivo je da su ekstremne mutnoće, suspendirane tvari i fekalne indikatorske bakterije imale naglašene pojave 2009. i 2010. godine., a povećane koncentracije ukupnog broja bakterija u razdoblju od 2012. – 2014.

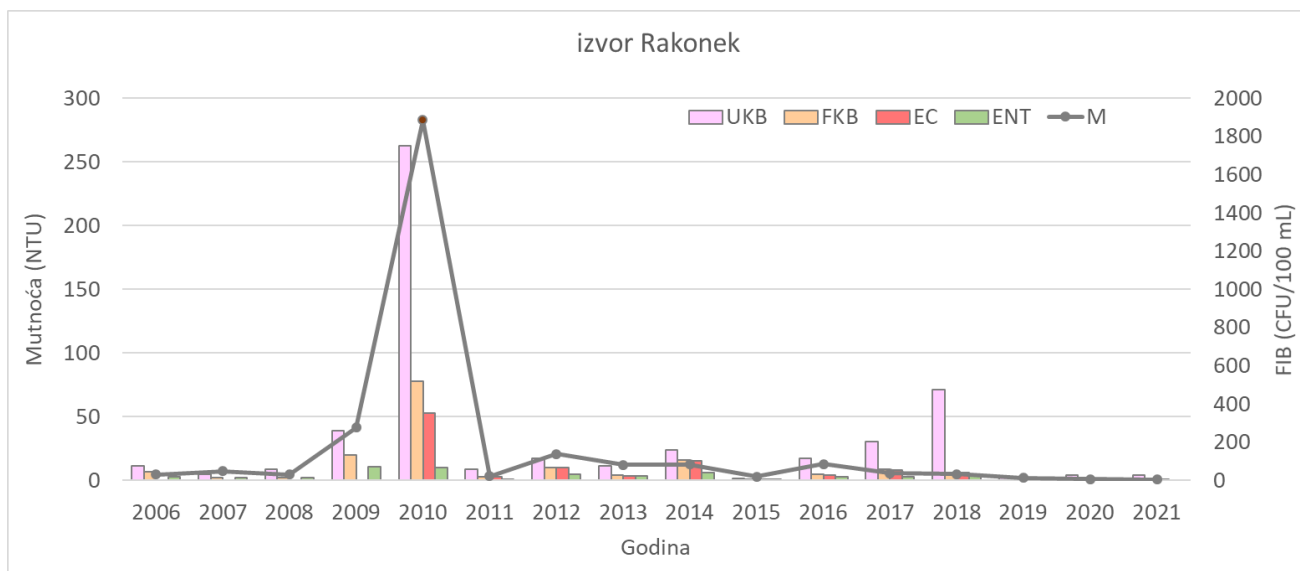


Slika 16. Mutnoća i ukupne suspendirane tvari (Total Suspended Solids, TSS) na izvoru Rakonek u razdoblju od 2006. do 2021. godine

Kod svih promatranih mikrobioloških pokazatelja u istraživanom razdoblju uočava se negativan trend (Slike 16 i 17). Godina 2010. posebno se ističe po ekstremnim vrijednostima mutnoće (srednja vrijednost 283 NTU), TSS (srednja vrijednost 152,3 mg/L) te indikatora fekalnog onečišćenja: ukupnih koliformnih bakterija (srednja vrijednost 1.753 CFU/100 mL), fekalnih koliformnih bakterija (srednja vrijednost 519 CFU/100 mL), *Escherichia coli* (srednja vrijednost 354 CFU/100 mL) i crijevnih enterokoka (srednja vrijednost 66 CFU/100 mL).



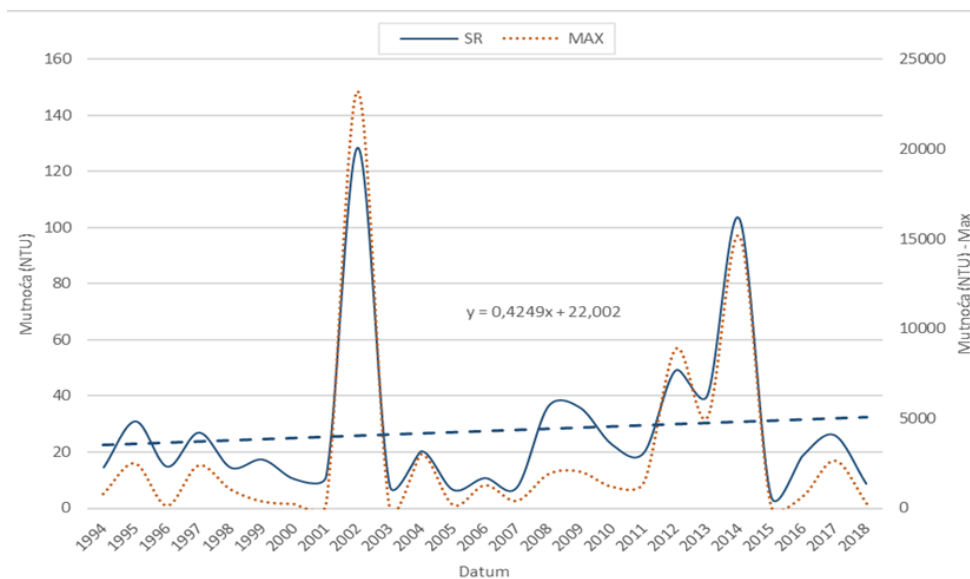
Slika 17. Mutnoća i ukupni broj bakterija (UBB) na izvoru Rakonek u razdoblju od 2006. do 2021. godine



Slika 18. Mutnoća i fekalne indikatorske bakterije (FIB) na izvoru Rakonek u razdoblju od 2006. do 2021. godine

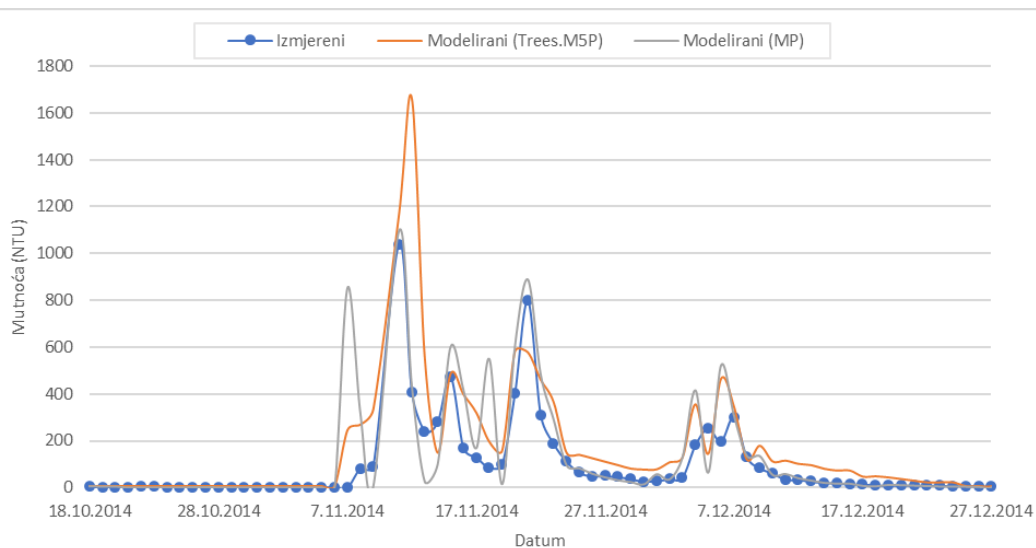
Svi ispitani mikrobiološki parametri bili su pozitivno korelirani s mutnoćom: UBB/22 ($r_s=0,47$), UBB/36 ($r_s=0,23$), UKB ($r_s=0,48$), FKB ($r_s=0,56$), EC ($r_s=0,63$), ENT ($r_s=0,50$). Pozitivne korelacije također su utvrđene između mutnoće i KPK ($r_s=0,23$), TSS ($r_s=0,65$), anorganskog dušika ($r_s=0,58$), nitrata ($r_s=0,25$), ukupnog dušika ($r_s=0,18$), ukupnog fosfora ($r_s=0,22$), TOC-a ($r_s=0,45$), otopljenog mangana ($r_s=0,57$) i ukupnog željeza ($r_s=0,71$).

No, periodički se javljaju i puno veće mutnoće u odnosu na zabilježene redovnim monitoringom Hrvatskih voda, a koje se interno registriraju od strane djelatnika vodovoda na samom vodocrpilištu. Na Slici 19 dan je prikaz hoda zabilježenih srednjih i maksimalnih mutnoća na izvoru Rakonek (1994. – 2018.), iz kojeg je vidljivo da postoji trend njihova povećanja.



Slika 19. Hod srednjih i maksimalnih godišnjih mutnoća na izvoru Rakonek (1994. - 2018.) (Građevinski fakultet u Rijeci, 2020)

Provedena su i modeliranja pojava mutnoća (Građevinski fakultet u Rijeci, 2020), i to neuronskim mrežama i regresijskim stablima odlučivanja, a koji su dali vrlo dobru podudarnost pri prognozama pojava ekstremno velikih mutnoća. Kao najbolji ocijenjeni su rezultati prognoziranja povećanih mutnoća većih od 100 NTU-a kod modela s osam atributa klasifikatora Trees.M5P, prikazani u vidu rezultata testnog razdoblja (Slika 20).



Slika 20. Usporedni prikaz izmjerenih i modeliranih dnevnih mutnoća za razdoblje 18.10 – 27.12.2014. godine (Građevinski fakultet u Rijeci, 2020)

Spomenuti je model iskorišten u predmetnom UKV projektu od strane nositelja aktivnosti hidrološkog modeliranja (Građevinski fakultet u Rijeci, 2020) i za modeliranje utjecaja klimatskih promjena na situacije pojava ekstremnih mutnoća, koji su pokazali da se u budućnosti mogu očekivati i naglašenije situacije pojava povećanih, pa i ekstremnih mutnoća, a time i zdravstvenih rizika zbog povezanosti mutnoća i kemijskog i bakteriološkog stanja podzemnih voda na izvoru Rakonek.

4.3 Utjecaj klimatskih promjena na promjenu kakvoća priobalnog mora na plažama i uz to vezani zdravstveni rizici

4.3.1 Područje ušća rijeke Krke kod Šibenika

Priobalno more i njegovo krško zaleđe na urbanim su područjima povezani nizom prirodnih i antropogenih procesa. Kakvoća priobalnog mora uvelike zavisi o dinamici interakcija tih procesa (ArandaCirerol i sur., 2006; Elliott i sur., 2014). U priobalnim područjima umjerenog i tropskog pojasa atraktivne se lokacije na obali u blizini urbanih sredina koriste za rekreativne svrhe, uglavnom kao kupališni prostori – morske plaže. Pri tome, izražena je vrlo velika osjetljivost ovih sustava na promjene kakvoće mora uslijed negativnih utjecaja s kopna (Ilter Turkdogan Aydinol i sur., 2012; Tett i sur., 2003). Posebno se to odnosi na područje šibenskog akvatorija, koje je predmet provedenih istraživanja, gdje na stanje kakvoće priobalnog mora naglašen utjecaj imaju i vode rijeke Krke, posebno u dijelu njenog potopljenog ušća do utoka u Šibenski kanal. Istraživanja su provedena u sklopu projekta ADRIAADAPT (Ružić i sur., 2021).

U područjima umjerenih temperatura klimatske promjene povećavaju učestalost ekstremnih pojava obilnih kiša, koje zajedno s istovremenim bujičnim nanosima rijeka i prelijevanjima otpadnih voda iz sustava javne odvodnje otpadnih voda ili kvarova unutar tog sustava, dovode do mikrobiološkog onečišćenja kupališnih zona (Penna i sur., 2021; Wang i sur., 2020). Naime, promjene/pogoršanja kakvoće mora u uvjetima povećanih oborina uvelike su posljedica donosa onečišćenja s kopna, bilo površinskim vodotocima i odvodnim sustavima, ili pak podzemnim vodama. Kod površinskih voda to mogu biti dotoci značajnijih riječnih ili bujičnih pojava, ili pak dotoci dospjeli u more sustavima odvodnje oborinskih voda tijekom ili neposredno nakon pojave intenzivnijih oborina, ili pak neposrednim površinskim ispiranjima. Također, može doći do veće resuspenzije FIB-a iz pijeska na plažama ili sedimenta (Weiskerger i sur., 2019). Pogoršanje kakvoće mora za kupanje obično traje 3-7 dana nakon obilnije kiše. U svim tim vodama se u stanjima povećanih dotoka, posebno nakon dugotrajnijeg sušnog razdoblja, mogu javiti i različiti tipovi onečišćenja kao posljedica površinskih ispiranja, ili pak ispuštanja komunalnih otpadnih voda urbanih područja različitog stupnja pročišćavanja. Istraživanja Williamson et al. (2017) su ukazala na smanjenje reduktivnog djelovanja UV zračenja na mikroorganizme uslijed povišene koncentracije otopljene organske tvari (eng. Dissolved Organic Matter, DOM) u kišnim razdobljima.

Rijeka Krka, zbog značajnog volumena i kapaciteta prihvata njenih ujezerenih dijelova toka, djeluje na stanje kakvoća mora posredno i sporije, dok ostali manji vodotoci i mreža urbane odvodnje imaju vrlo brze reakcije. Moguće porijeklo onečišćenja u podzemnim vodama je dvojako – kao posljedica onečišćenja na širem području prihranjivanja/infiltracije oborinskih

voda, kao i posljedica specifičnih lokalnih problema vezanih uz tehnička rješenja izgrađenih sustava komunalne i oborinske odvodnje kojima moguća onečišćenja vrlo brzo dopijevaju u zonu aktivne komunikacije i istjecanja podzemnih voda u more.

Monitoring ispitivanja kakvoće mora na plažama hrvatskog dijela Jadranskog mora prati se temeljem Uredbe o kakvoći mora za kupanje (NN 73/2008, 2008), koja je usklađena s Europskom Direktivom Europskog parlamenta i Vijeća o upravljanju vodom za kupanje (BWD) (2006/7/EC, 2006). EU Direktiva propisuje minimalne standarde, međutim dopušta se zemljama članicama da u svojim nacionalnim propisima definiraju strože kriterije. To je slučaj s Francuskom, Grčkom, Italijom i Španjolskom, kao i s Hrvatskom. Uredbom koja je na snazi u Hrvatskoj (NN 73/2008, 2008) propisane su niže granične vrijednosti, odnosno stroži uvjeti ocjenjivanja, za pokazatelj *Escherichia coli*. Razlog tome je visoka kakvoća mora na većini plaža hrvatskog dijela Jadrana, te primjenom graničnih vrijednosti iz europske Direktive ne bi bilo moguće rano uočavanje negativnih promjena u okolišu i provođenje brzih sanacijskih mjera.

Granične vrijednosti za pojedinačnu ocjenu kakvoće mora nakon svakog ispitivanja tijekom sezone kupanja dani su u [Tablici 2](#), a kakvoća mora na plažama nakon 10 ispitivanja odnosno cijele sezone kupanja (godišnja ocjena) kao i konačna ocjena (za četverogodišnje razdoblje po završetku posljednje sezone kupanja i tri prethodne sezone) dani su u [Tablici 3](#).

Tablica 2. Kriteriji ocjenjivanja kakvoće mora nakon svakog ispitivanja (pojedinačna ocjena) (NN 73/2008, 2008)

Pokazatelj	Kakvoća mora			Metoda ispitivanja
	izvrсна	dobra	zadovoljavajuća	
crijevni enterokoki (bik*/100 mL)	<60	61-100	101-200	HRN EN ISO 7899-1 ili HRN EN ISO 7899-2
<i>Escherichia coli</i> (bik*/100 mL)	<100	101-200	201-300	HRN EN ISO 9308-1 ili HRN EN ISO 9308-3

* bik – broj izraslih kolonija

Tablica 3. Kriteriji ocjene kakvoće mora na kraju sezone kupanja (godišnja ocjena) te za aktualnu i prethodne tri sezone kupanja (konačna ocjena) (NN 73/2008, 2008)

Pokazatelj	izvrсна	dobra	zadovoljavajuća	nezadovoljavajuća
crijevni enterokoki bik ^{***} /100 ml)	≤100*	≤200*	≤185**	>185**(2)
<i>Escherichia coli</i> (bik ^{***} /100 ml)	≤150*	≤300*	≤300**	>300**(2)

(*)Temeljeno na vrijednosti 95-og percentila⁽¹⁾

(**)Temeljeno na vrijednosti 90-og percentila⁽¹⁾

⁽¹⁾ Temeljeno na log10 normalnoj raspodjeli koncentracija mikrobioloških pokazatelja, vrijednosti pojedinih percentila dobivaju se na sljedeći način:

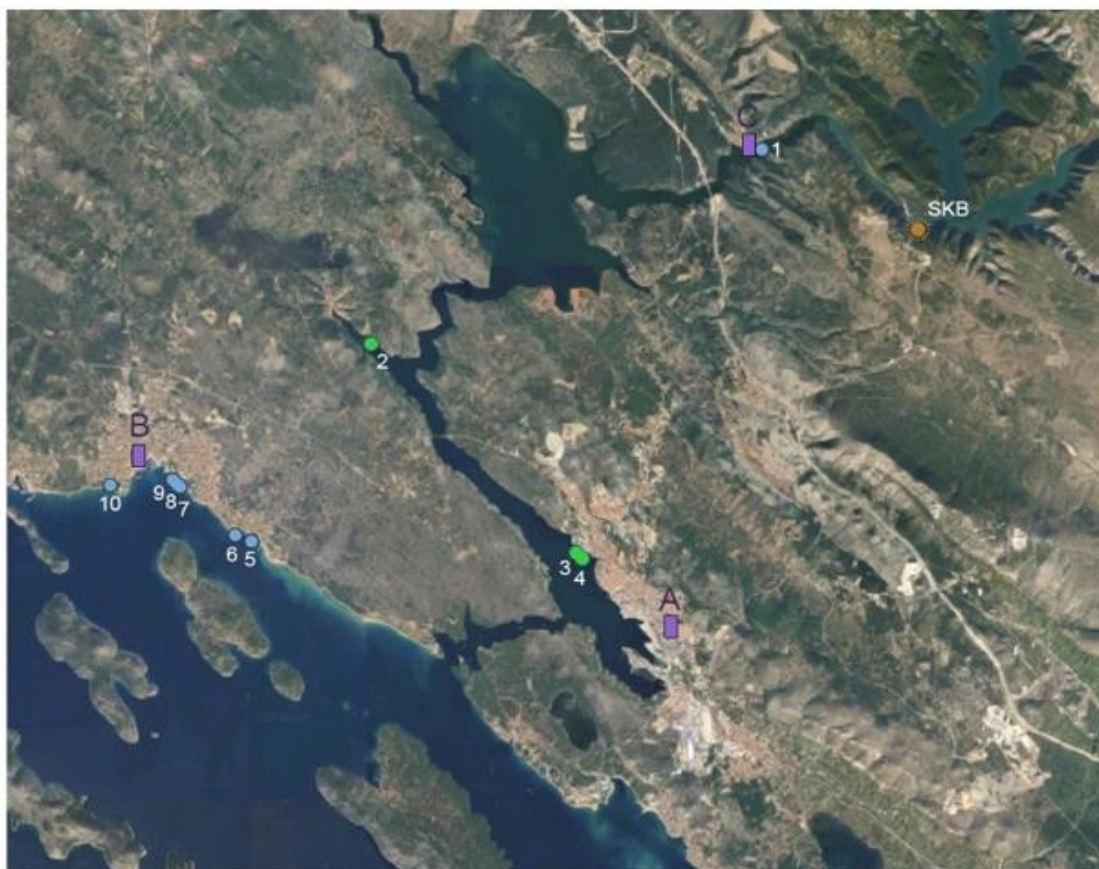
- izračunavaju se logaritmi (log10) svih bakterijskih koncentracija (u slučaju nultih vrijednosti koncentracija uzimaju se logaritamske vrijednosti koncentracija koje predstavljaju graničnu vrijednost detekcije korištene analitičke metode)
- izračunava se aritmetička sredina logaritmiranih vrijednosti koncentracija (μ)
- izračunava se standardna devijacija logaritamskih vrijednosti (σ)
- 90-i i 95-i percentili izračunavaju se na sljedeći način:

90-i percentil = antilog ($\mu + 1.282 \sigma$)

95-i percentil = antilog ($\mu + 1.65 \sigma$)

⁽²⁾Trenutačno djelovanje za pojedinačne uzorke, ukoliko broj crijevnih enterokoka prijeđe 300 bik/100 ml, *Escherichia coli* 500 bik/100 ml

Na istraživanom području Šibensko-kninske županije ispitivanje kakvoće mora za kupanje provodi se na 100 lokacija. Analizirani su rezultati praćenja kakvoće mora tijekom razdoblja 2009. – 2020., pri čemu je, na temelju rezultata dosadašnjih opažanja, za detaljnije analize odabrano 10 postaja (Slika 16) za koje je ocijenjeno da jesu, ili bi mogle biti, pod neposrednijim utjecajem dotoka voda s kopna, bilo da se radi o vodama rijeke Krke, ili pak oborinske i podzemne vode s neposrednog slivnog područja. U razdoblju 2017. – 2020. u ŠKŽ-u je čak 97 % plaža ocijenjeno „izvršnom“, a 3 % plaža „dobrom“ ocjenom. To su plaža Zaton, plaža Crnica – Banj i plaža Crnica – Banj kraj, koje su locirane unutar potopljenog ušća rijeke Krke gdje je slabija izmjena voda, te u neposrednoj blizini urbanih područja Šibenika i Zatona. U danom dokumentu korišteni su i podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) s glavne meteorološke postaje Šibenik (43° 43' 41" N, 15° 54' 23" E) koja se nalazi na 77 m nadmorske visine, kišomjerne postaje Skradin (43°49' N, 15°55' E) koja se nalazi na 20 m nadmorske visine i Vodice (43°45' N, 15°46' E) koja je smještena na 2 metra nadmorske visine, te hidrološke postaje Skradinski buk gornji (Slika 21).



KAKVOĆA MORA ZA KUPANJE

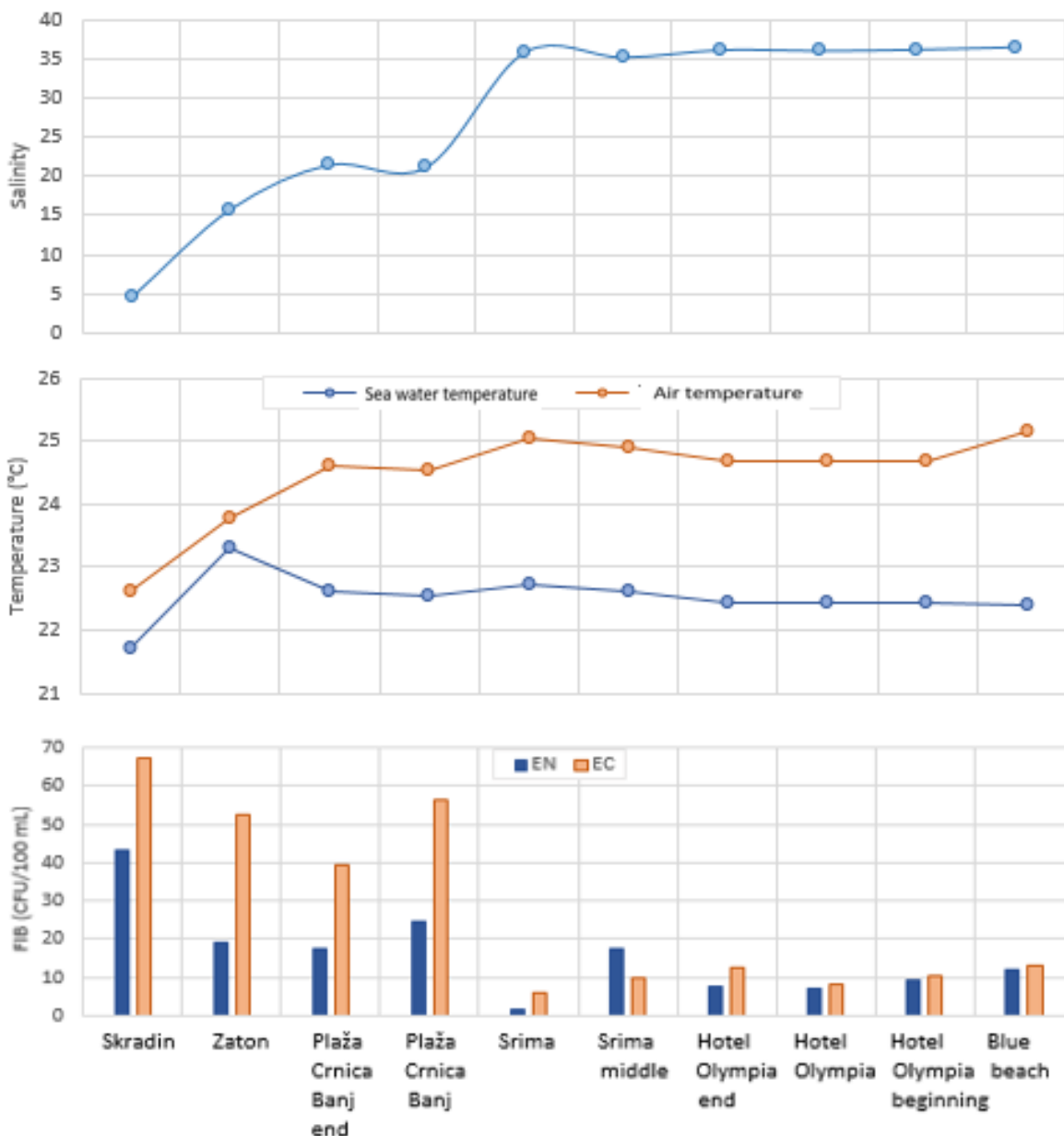
0 1 2 3 km

- izvrsna
- dobra
- meteorološka postaja
- hidrološka postaja

Slika 21. Prikaz odabranih lokacija na kojima se provodi ispitivanje kakvoće mora za kupanje (1 – Skradin, 2 – Zaton, 3 – Plaža Crnica – Banj kraj, 4 – Plaža Crnica - Banj, 5 – Srima, 6 – Srima sredina, 7 – Hotel Olympia kraj, 8 – Hotel Olympia, 9 – Hotel Olympia početak, 10 – Plava plaža), meteoroloških postaja (A – Šibenik, B – Vodice i C – Skradin), te hidrološke postaje Skradinski buk gornji (SKB)

Rezultati provedenih analiza kakvoće mora (maksimalne vrijednosti koncentracije crijevnih enterokoka, EN i *Escherichia coli*, EC) pokazuju da je najveća srednja vrijednost za oba pokazatelja zabilježena na plaži Skradin, nakon koje slijede plaže Crnica – Banj, Crnica – Banj kraj u Šibeniku te plaža u Zatonu. Niže koncentracije promatranih mikrobioloških pokazatelja javljaju se na svih šest plaža u okolici Vodica. Utvrđeno je da ne postoje izraženiji trendovi povećanja maksimalnih koncentracija promatranih mikrobioloških pokazatelja koji bi ukazali na određene

sustavne promjene kakvoće priobalnog mora na odabranim lokalitetima. Izuzetak je plaža na lokalitetu Crnica Banj na kojoj se primjećuje zamjetniji trend povećanja EC, što je najvjerojatnije posljedica rekonstrukcije sustava odvodnje grada Šibenika i upuštanja voda urbane odvodnje u utjecajnu zonu ove plaže. Utvrđeno je i da se s povećanjem udjela slatke vode u uzorcima mora na pojedinim plažama, kakvoća mora pogoršava (Slika 22).

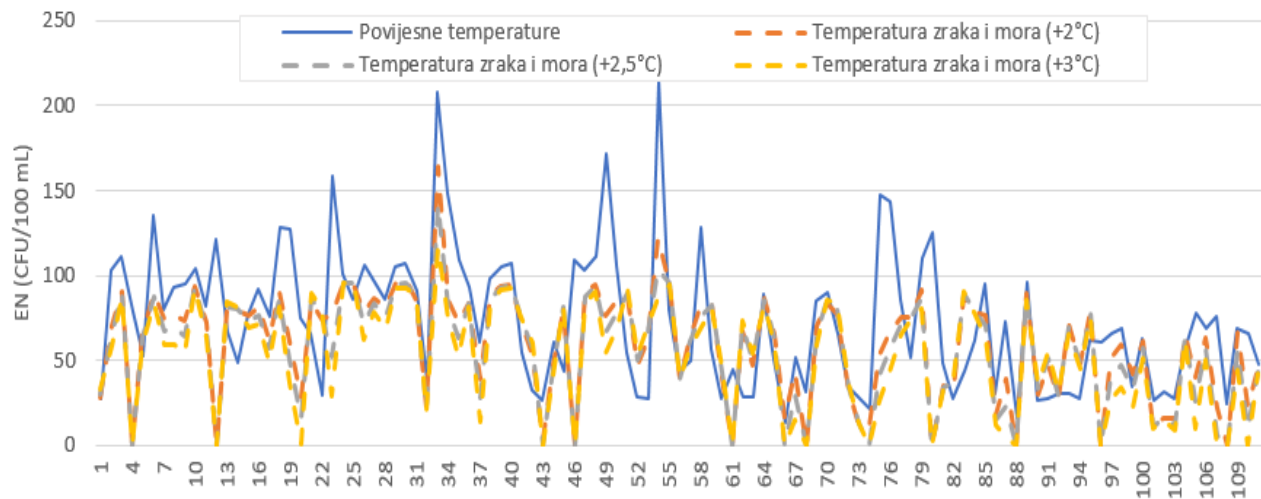


Slika 22. Usporedni prikaz srednje slanosti mora, srednje temperature zraka i mora te srednje vrijednosti FIB (crijevnih enterokoka - EN i Escherichia coli – EC) na odabranim lokacijama (Ružić et al., 2021)

Zbog toga je za modeliranje utjecaja klimatskih promjena na kakvoću mora kao reprezentativna odabrana plaža u Skradinu, koja je pod najizravnijim utjecajem dotoka rijeke Krke, za koju su također provedene analize kakvoće vode na najizvodnijoj postaji Skradinski buk.

Modeliranje je provedeno metodama strojnog učenja/umjetne inteligencije, pri čemu su korištene neuronske mreže i regresijska stabla odlučivanja. Utvrđeno je da su pri modeliranju pojava crijevnih enterokoka kao prva tri rangirana utjecajna atributa bile oborine koje su pale taj dan, sumarne količine oborina koje su pale 1 – 3 dana prije, te slanost, dok je pri modeliranju pojavnosti *Escherichia coli* redoslijed rangiranih varijabli promijenjen i dominantna je slanost mora, zatim količina oborina koje su pale 1 – 3 dana prije i konačno protok Krke na Skradinskom buku.

Na osnovu treniranog modela neuronskih mreža (MP), koji je dao prihvatljive rezultate za prognozirane pojavnosti crijevnih enterokoka, prognozirane su promjene u mogućim uvjetima klimatskih promjena (Slika 23). Uzeti su svi ulazni atributi kao i kod treniranog modela s time da su temperature zraka povećane za 2, 2,5 i 3 °C, u kojem se opsegu generalno kreću prognozirane promjene temperature zraka i voda rijeke Krke, pa su tako iste usvojene i za promjenu temperature mora. Kako u odnosu na temperature zraka za koje postoji jasan signal nastavka, pa i intenziviranja trenda njihovog porasta, oborine pokazuju različite mogućnosti promjene u različitim klimatskim scenarijima (opadanja i porasta), njihove promjene nisu bile uključene u provedeno modeliranje.



Slika 23. Grafički prikaz modeliranih vrijednosti crijevnih enterokoka u postojećim uvjetima, kao i u uvjetima mogućih klimatskih promjena (promjena temperature zraka i mora za 2, 2,5 i 3 °C)

Dobiveno je da bi se s porastom temperature zraka i vode u rasponu između 2 i 3 °C, smanjila mikrobiološka opterećenja (EN) na plaži Skradin u rasponu između 15 i 28 % za prekoračenja granice od 60, a još više (raspon 45 – 64 %) za prekoračenje granice od 100 CFU/100 mL. Razlog tome je spomenuti efekt kraćeg vremena preživljavanja bakterija za vrijeme intenzivnijeg Sunčevog zračenja, kada je temperatura zraka generalno viša. Povišena temperatura morske vode također utječe na brže smanjenje broja bakterija uslijed povećane metaboličke aktivnosti.

Dakle, rezultati provedenog modeliranja pokazali su da se unatoč promjena klimatskih i hidroloških prilika uslijed klimatskih promjena, odnosno intenziviranju površinskih otjecanja s kopna, sumarno ne očekuju negativne manifestacije takvih promjena na kakvoću mora, kao na i povećavanje zdravstvenih rizika. Efekt povećanja ispiranja onečišćenja s kopna uslijed očekivanog povećanja dotoka i intenziteta oborina biti će ublažen zbog povećanja temperature morske vode, odnosno efekta djelovanja intenzivnije insolacije, a što ima za posljedicu brže odumiranje mikrobiološkog sastava s kopna u morskom okolišu.

5 PRIJEDLOZI MJERA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA STANJA VODNIH RESURSA 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 najnepoželjnih 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. 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,
- izgraditi filtarske uređaje za kondicioniranje vode na izvorištima,
- 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,

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.

6 LITERATURA

- Allen, M. J., Edberg, S. C., & Reasoner, D. J. (2004). Heterotrophic plate count bacteria--what is their significance in drinking water? *Int J Food Microbiol*, 92(3), 265-274, doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2003.08.017.
- ArandaCirerol, N., Herrera-Silveira, J. A., & Comín, F. A. (2006). Nutrient water quality in a tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatán, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68(3), 445-454, doi:https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.02.015.
- Bernhard, J. (2021). Household water use in Europe at regional scale: analysis of trends and quantification of main drivers.I. Joint Reserach Center, Italy.
- Bešić, A., Karakač, S., & Dautbegović, A. (2019). Evaluation of public health risk factors in water supply systems in Maglaj Municipality. *International Journal of Management Cases*, 21(1), 67-82.
- Biondić, B., & Biondić, R. (2003). State of seawater intrusion of the Croatian coast. In J. Lopez-Geta, de Dios Gomez, J. & de la Orden, J. (ur.) (Ed.), *Coastal aquifers intrusion technology: Mediterranean countries* (pp. 225-238): Madrid, Instituto Geologico y Minero de Espana (IGME), Geological Survey.
- Biondić, R., Rubinić, J., Biondić, B., Meaški, H., & Radišić, M. (2016). Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet i Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet. Varaždin.
- Boehm, A., & Sassoubre, L. Enterococci as Indicators of Environmental Fecal Contamination. In, 2014
- 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)*: Springer.
- Bubnová, R., Hello, G., Benard, P., & Geleyn, J. (1995). Integration of fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrain-following coordinate in the framework of ARPEGE/ALADIN NWP system. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 515-535.
- Byappanahalli, M. N., Nevers, M. B., Korajkic, A., Staley, Z. R., & Harwood, V. J. (2012). Enterococci in the environment. *Microbiology and molecular biology reviews : MMBR*, 76(4), 685-706, doi:10.1128/MMBR.00023-12.
- 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.
- Chowdhury, S. (2022). Effects of seawater intrusion on the formation of disinfection byproducts in drinking water. *Science of The Total Environment*, 827, 154398, doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154398.
- COST Association (1995). Karst Ground Water Protection - Final Report. ISBN/ISSN: 978-92-827-4682-0.
- De Weist, R. (1965). Geohydrology. *John Wiley and Sons. New York*.
- 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,
- Dorner, S. M., Anderson, W. B., Gaulin, T., Candon, H. L., Slawson, R. M., Payment, P., et al. (2007). Pathogen and indicator variability in a heavily impacted watershed. *J Water Health*, 5(2), 241-257.
- Državni zavod za statistiku (2022). Podaci. <https://podaci.dzs.hr/en/>. Accessed 20. srpanj 2022.
- Elliott, M., Cutts, N., & Trono, A. (2014). A typology of marine and estuarine hazards and risks as vectors of change: a review for vulnerable coasts and their management. *Ocean & coastal management*, 93, 88-99.
- EPA (2022). Climate Impacts on Water Resources. https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-water-resources_.html.

- Eptisa Adria (2017). Strengthening the capacity of the Ministry of Environment and Energy for adaptation to climate change and preparation of the Draft Climate Change Adaptation Strategy. Zagreb, file:///C:/Users/darij/Desktop/Rubinic_Klimatske%20promjene/CLANCI/Draft%20CC%20Adaptation%20Strategy.pdf.
- Escobar, L. E., Ryan, S. J., Stewart-Ibarra, A. M., Finkelstein, J. L., King, C. A., Qiao, H., et al. (2015). A global map of suitability for coastal *Vibrio cholerae* under current and future climate conditions. *Acta Tropica*, 149, 202-211, doi:https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.05.028.
- European Environment Agency (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: an indicator-based report*: Publications Office.
- European Environment Agency (EEA) (2021). Water resources across Europe - confronting water stress: an updated assessment. EEA Report No 12/2021. <https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe-confronting>. Publications Office of the European Union, 2021.
- Fischer, E. M., & Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(6), 398-403, doi:10.1038/ngeo866.
- Geotehnički fakultet Sveučilište u Zagrebu (2009). Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj. Zagreb.
- Geotehnički fakultet Sveučilište u Zagrebu (2019). Definiranje kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja.
- Gkiougkis, I., Pouliaris, C., Pliakas, F.-K., Diamantis, I., & Kallioras, A. (2021). Conceptual and Mathematical Modeling of a Coastal Aquifer in Eastern Delta of R. Nestos (N. Greece). *Hydrology*, 8(1), 23.
- Građevinski fakultet u Rijeci i Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) (2019). Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (Projekt RAINMAN) (nositelj zad. Rubinić, J.), Rijeka – Zagreb Fond tehničke dokumentacije.
- Građevinski fakultet u Rijeci Sveučilište u Zagrebu i Geotehnički fakultet Dinaric Hub (2020). Istraživanje dinamike protjecanja voda u slivu Pazinčice i s njime povezanim vodnim resursima krškog vodonosnika središnje Istre (nositelj zad. Rubinić J.). Fond stručne dokumentacije, Rijeka.
- Herceg, F. (2019). *Utjecaj mora na priobalne krške vodonosnike. Mentor: Danko Biondić*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Hoque, M. A., Scheelbeek, P. F. D., Vineis, P., Khan, A. E., Ahmed, K. M., & Butler, A. P. (2016). Drinking water vulnerability to climate change and alternatives for adaptation in coastal South and South East Asia. *Climatic change*, 136, 247-263, doi:10.1007/s10584-016-1617-1.
- Ilter Turkdogan Aydinol, F., Kanat, G., & Bayhan, H. (2012). Sea water quality assessment of Prince Islands' beaches in Istanbul. *Environ Monit Assess*, 184(1), 149-160, doi:10.1007/s10661-011-1954-5.
- Javadinejad, S. (2022). Causes and consequences of floods: flash floods, urban floods, river floods and coastal floods. *Resources Environment and Information Engineering*, 4(1), 156-166, doi:https://doi.org/10.25082/REIE.2022.01.002.
- Jeleč, N. (2015). Crisis management - an example of the floods in BIH in 2014 with reference to the readiness of BIH to take in more refugees, <https://www.parlament.ba/Publication/Read/4728?title=upravljanje-krizom---primjer-poplava-u-bosni-i-hercegovini--2014.-sa-osvrtom-na-spremnost-bosne-i-hercegovine-za-prijem-veceg-broja-izbjeglica-&pageId=0>.
- Katalinić, A., Rubinić, J., & Bušelić, G. Hydrology of two coastal karst cryptodepressions in Croatia: Vrana lake vs Vrana lake. In *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference, 2007* (pp. 732-743)
- Katz, B. G., Catches, J. S., Bullen, T. D., & Michel, R. L. (1998). Changes in the isotopic and chemical composition of ground water resulting from a recharge pulse from a sinking stream. *Journal of Hydrology*, 211, 178-207, doi:10.1016/s0022-1694(98)00236-4.

- Khan, A. E., Scheelbeek, P. F., Shilpi, A. B., Chan, Q., Mojumder, S. K., Rahman, A., et al. (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.
- Kharroubi, A., Tlahigue, F., Agoubi, B., Azri, C., & Bouri, S. (2012). Hydrochemical and statistical studies of the groundwater salinization in Mediterranean arid zones: case of the Jerba coastal aquifer in southeast Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, 67(7), 2089-2100.
- Krčmar, S. (2019). Diversity, ecology, and seasonality of hard ticks (Acari: Ixodidae) in eastern Croatia. *J Vector Ecol*, 44(1), 18-29, doi:10.1111/jvec.12325.
- Lin, Y.-K., Chang, C.-K., Wang, Y.-C., & Ho, T.-J. (2013). Acute and prolonged adverse effects of temperature on mortality from cardiovascular diseases. *PLoS one*, 8(12), e82678-e82678, doi:10.1371/journal.pone.0082678.
- MarBEF project (2022). Effects of climate change on the Mediterranean. https://www.marinespecies.org/introduced/wiki/Effects_of_climate_change_on_the_Mediterranean. Accessed 16. srpanj 2022.
- Marchesi, I., Marchegiano, P., Bargellini, A., Cencetti, S., Frezza, G., Miselli, M., et al. (2011). Effectiveness of different methods to control legionella in the water supply: ten-year experience in an Italian university hospital. *J Hosp Infect*, 77(1), 47-51, doi:10.1016/j.jhin.2010.09.012.
- Margeta, J. (2022). Water abstraction management under climate change: Jadro spring Croatia. *Groundwater for Sustainable Development*, 16, 100717, doi:https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100717.
- Marinović, V., & Petrović, B. Turbidity dynamics in karst hydrogeological systems. Example of three karst springs from Serbia. In *46th IAH Congress 2019 groundwater management and governance - coping with water scarcity, 2019*
- Mayer, J. (1999). Spatial and Temporal Variation of Groundwater Chemistry in Pettyjohns Cave, Northwest Georgia, USA. *Journal of Cave and Karst Studies*, 61(3), 131-138.
- McCarthy, J. F., & Zachara, J. M. (1989). Subsurface transport of contaminants. *Environmental Science & Technology*, 23(5), 496-502, doi:10.1021/es00063a001.
- 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.
- NN 73/2008 (2008). Uredba o kakvoći mora za kupanje. Ministarstvo zaštite okoliša.
- Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X., et al. (2007). Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1395–1409.
- Penna, P., Baldrighi, E., Betti, M., Bolognini, L., Campanelli, A., Capellacci, S., et al. (2021). Water quality integrated system: A strategic approach to improve bathing water management. *Journal of Environmental Management*, 295, 113099, doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113099.
- Petrik, M. (1961). Available Quantity of Water in Vrana Lake on the Cres Island. 13(4), 93-98.
- Psomas, A., Bariamis, G., Roy, S., Rouillard, J., & Stein, U. (2021). Comparative study on quantitative and chemical status of groundwater bodies. Study of the impacts of pressures on groundwater in Europe, Service Contract No 3415/B2020/EEA.58185. pp. 39.
- Rubinić, J., Kuhta, M., & Brkić, Ž. (2011). Test Area Lake Vrana—Cres Island (Croatia). EU Project CCWaterS. Croatian Geological Survey, Zagreb.
- Rubinić, J., Mihovilović, M., Radišić, M., Rogić, A., & Vodanović, F. Water protection of Lake Vrana on the island of Cres - yesterday, today and tomorrow. In *Scientific conference Management of lakes and reservoirs in Croatia, Biograd na moru, 2017*

- Ružić, I., Krvavica, N., Rubinić, J., Radišić, M., Tadić, A., Lončar, G., et al. (2021). The analysis of coastal infrastructure vulnerability due to climate change and definition and derivation of data for vulnerability analysis - ADRIADAPT project.
- Santini, M., Collalti, A., & Valentini, R. (2014). Climate change impacts on vegetation and water cycle in the Euro-Mediterranean region, studied by a likelihood approach. *Regional Environmental Change*, 14(4), 1405-1418, doi:10.1007/s10113-013-0582-8.
- Smith, S. J., & Wahl, K. L. (2003). Changes in streamflow and summary of major-ion chemistry and loads in the North Fork Red River basin upstream from Lake Altus, northwestern Texas and western Oklahoma, 1945-1999. *Water-Resources Investigations Report*. U. S. G. Survey.
- Terzić, J. (2022). Hidrogeološke značajke Blatskog vodonosnika i utjecaj klimatskih promjena na količinu i kakvoću vode u budućnosti. Prezentacija. Radionica UKV projekta, Vela Luka 5.5.2022.
- Tett, P., Gilpin, L., Svendsen, H., Erlandsson, C., Larsson, U., Kratzer, S., et al. (2003). Eutrophication and some European waters of restricted exchange. *Continental Shelf Research*, 23(17-19), 1635-1671, doi:10.1016/j.csr.2003.06.013.
- The European Parliament and the Council of the European Union (2006). Directive 2006/7/EC of 15 February 2006 Concerning the Management of Bathing Water Quality and Repealing Directive 76/160/EEC. Brussels, Belgium: European Union.
- The Municipality of Maglaj (2012). The development strategy of Maglaj municipality 2012-2020, <https://www.maglaj.ba/slike2/dokumenti/Strategija%20razvoja%20op%C4%87ine%20Maglaj%20%202012-2020.pdf>.
- Toth, V. (1998). Spatial and temporal variations in the dissolved organic carbon concentrations in the vadose waters of Marengo cave, Indiana. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60(3), 167-171.
- Umar, N., & Gray, A. (2022). Flooding in Nigeria: a review of its occurrence and impacts and approaches to modelling flood data. *International Journal of Environmental Studies*, 1-22, doi:10.1080/00207233.2022.2081471.
- Verruijt, A. (1968). A note on the Ghyben-Herzberg formula. *International Association of Scientific Hydrology, Bulletin, Taylor & Francis Group*, 13(4), 43-46.
- Vesper, D. J., & White, W. B. (2004). Storm pulse chemographs of saturation index and carbon dioxide pressure: implications for shifting recharge sources during storm events in the karst aquifer at Fort Campbell, Kentucky/Tennessee, USA. *Hydrogeology Journal*, 12(2), 135-143, doi:10.1007/s10040-003-0299-8.
- Vitali Čepo, D. (2022). CO2GO – Priče o klimi, priče za klimatsku akciju.
- Wang, H., Yang, X., Chen, Q., Su, J.-Q., Mulla, S. I., Rashid, A., et al. (2020). Response of prokaryotic communities to extreme precipitation events in an urban coastal lagoon: A case study of Yundang lagoon, China. *Science of The Total Environment*, 706, 135937, doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135937.
- Weiskerger, C. J., Brandão, J., Ahmed, W., Aslan, A., Avolio, L., Badgley, B. D., et al. (2019). Impacts of a changing earth on microbial dynamics and human health risks in the continuum between beach water and sand. *Water Res*, 162, 456-470, doi:10.1016/j.watres.2019.07.006.
- Werschkun, B., Banerji, S., Basurko, O. C., David, M., Fuhr, F., Gollasch, S., et al. (2014). Emerging risks from ballast water treatment: The run-up to the International Ballast Water Management Convention. *Chemosphere*, 112, 256-266, doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.135.
- Williamson, C. E., Madronich, S., Lal, A., Zepp, R. G., Lucas, R. M., Overholt, E. P., et al. (2017). Climate change-induced increases in precipitation are reducing the potential for solar ultraviolet radiation to inactivate pathogens in surface waters. *Scientific Reports*, 7(1), 13033, doi:10.1038/s41598-017-13392-2.

- World Health Organization (WHO) (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.
- World Health Organization (WHO) (2011). Guidance on Water Supply and Sanitation In Extreme Weather Events, https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0016/160018/WHOGuidanceFVLR.pdf20. svibanj 2022.
- World Health Organization (WHO) (2017). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>.
- Zavod za razvoj prostorno planiranje i zaštitu čovjekova okoliša (1997). Prostorni plan Županije primorsko-goranske, Separat F1/3, Zaštita voda, Rijeka.
- Zupan Hajna, N., Ravbar, N., Rubinić, J., & Petrič, M. (2015). Life and water on karst. Monitoring of transboundary water resources of Northern Istria. Postojna.
- Žugaj, R., Batić, V., & Žugaj, M. (1994). Zadarski vodovod. Vodoopskrba Zadra i okolice. I. faza, Hidrogeološka studija i elaborat o učinku injekcijske zavjese. Z. Arhiv Elektroprojekt inženjering.