



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet

Klasa: 303-02/17-02/74  
Urbroj: 2186-73-11-19-29

## DEFINIRANJE KRITERIJA ZA UTVRĐIVANJE STANJA TIJELA PODZEMNE VODE KOD POJAVE ZASLANJENJA



Geotehnički fakultet

Dekan:

---

Prof.dr.sc. Ranko Biondić



NARUČITELJ: HRVATSKE VODE  
NAZIV PROJEKTA: **DEFINIRANJE KRITERIJA ZA UTVRĐIVANJE STANJA TIJELA PODZEMNE VODE KOD  
POJAVE ZASLANJENJA**

EVIDENCIJSKI BROJ UGOVORA: 14-016/17

POZICIJA PLANA: A.04.03.01

IZVRŠITELJ:

Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet  
Hallerova aleja 7, 42 000 Varaždin

PODIZVRŠITELJ:

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet  
Radmile Matejčić 3, 51 000 Rijeka

VODITELJ PROJEKTA:

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

AUTORI IZVJEŠĆA:

Prof.dr.sc. Ranko Biondić, dipl.ing.geol.  
Doc.dr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.građ.  
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški, dipl.ing.geol.  
Prof. emeritus Božidar Biondić, dipl.ing.geol.  
Maja Radišić, mag.ing.aedif.



## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Opis istraživanih područja .....	3
2.1. Geološki i hidrogeološki opis TPV Bokanjac-Poličnik .....	4
2.1.1. Geološki opis područja TPV Bokanjac-Poličnik .....	4
2.1.2. Hidrogeološki opis TPV Bokanjac-Poličnik .....	7
2.2. Hidrološki opis TPV Bokanjac-Poličnik .....	11
2.3. Prikaz crpilišta u TPV Bokanjac-Poličnik .....	13
2.4. Analiza korištenja podzemnih voda za navodnjavanje u TPV Bokanjac-Poličnik .....	17
3. Monitoring podzemnih voda .....	24
4. Monitoring površinskih voda .....	30
5. Hidrološka analiza .....	36
5.1. Analiza klimatoloških prilika .....	36
5.2. Analiza podataka monitoringa hidroloških prilika .....	42
5.2.1. Operativni hidrološki monitoring istjecanja podzemnih voda .....	42
5.2.2. Monitoring na hidrološkim postajama DHMZ-a i analiza vjerojatnosti pojava odabranih pokazatelja .....	48
5.2.3. Zasljanjivanje izvorišta .....	53
5.3. Analiza vodne bilance .....	62
5.3.1. Metodološke postavke .....	62
5.3.2. Procjena vodne bilance .....	64
5.3.3. Procjena utjecaja klimatskih promjena na promjenu vodne bilance .....	67
6. Hidrogeološka analiza .....	71
6.1. Analiza operativnog monitoringa podzemnih voda .....	71
6.2. Analiza količina crpljenja .....	84
6.3. Analiza kvalitete podzemne vode .....	88
6.4. Analiza odnosa razine podzemne vode i razine mora .....	93
7. Prijedlog mjera za smanjenje rizika od potencijalnog zasljanjenja podzemnih voda na području TPV Bokanjac-Poličnik .....	97
8. Prijedlog kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zasljanjenja u priobalnim krškim vodonosnicima .....	100
9. Literatura .....	112



## 1. Uvod

Prema Ugovoru od 30. listopada 2017. godine sklopljenom između Hrvatskih voda kao naručitelja (klasa: 325-01/17-10/60; urbroj: 374-1-6-17-6) i Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (klasa: 303-02/17-02/74; urbroj: 2186-73-01-17-6) te prema I. dodatku Ugovora od 18. prosinca 2018. godine (Hrvatske vode – klasa 325-01/17-10/60; urbroj: 374-1-6-18-20; GFV – klasa: 303-02/17-02/74, urbroj: 2186-73-01-18-22), Geotehnički fakultet je preuzeo obvezu izrade studije "Definiranje kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja".

Utvrđivanje stanja tijela podzemne vode provodi se prilikom izrade Plana upravljanja vodnim područjima, a metodologija i kriteriji za određivanje stanja tijela podzemne vode su definirani nacionalnom metodologijom koja mora biti usklađena s odredbama Okvirne direktive o vodama (ODV, 2000). Procjena stanja se provodi na tijelima podzemne vode (TPV) koja su određena na nacionalnoj razini i na kojima je uspostavljen nadzorni monitoring podzemnih voda. Cjelokupno krško područje u Republici Hrvatskoj podijeljeno je na 18 tijela podzemne vode (TPV) i na njima je izrađena procjena stanja i rizika (BIONDIĆ, R. et al., 2016). Ona se temelji na analizi stanja kvalitete podzemne vode i količinskog stanja podzemne vode s ciljem određivanja ispunjavanja uvjeta članka 4. Okvirne direktive o vodama (ODV, 2000). Ti uvjeti su postizanje „dobrog stanja“ podzemnih voda, dobrog ekološkog stanja i dobrog ekološkog potencijala. Jedna od mogućih ugroza postizanja „dobrog stanja“ podzemnih voda kod priobalnih tijela podzemne vode je potencijalni negativni utjecaj mora, odnosno zaslanjenja priobalnih vodonosnika. Od 18 izdvojenih TPV u krškom dijelu Republike Hrvatske čak 13, odnosno sva TPV u Jadranskom vodnom području imaju u manjoj ili većoj mjeri status priobalnih vodonosnika.

U morskim priobalnim područjima brojni su problemi povremenog povišenja saliniteta na crpilištima kao posljedica prekomjerne eksploatacije podzemnih voda, ali postoje i brojne pojave istjecanja bočate vode na priobalnim izvorima u potpuno prirodnim uvjetima. Rezultat je to labilne dinamičke ravnoteže slane morske i slatke vode u priobalnim vodonosnicima.

Jedan od glavnih faktora koji dodatno utječe na stabilnost sustava slane i slatke vode je eksploatacija podzemnih voda. Lokacije, na kojima se formiraju crpilišta, mogu biti prirodni izvori, zone istjecanja, ali isto tako mogu biti i umjetno načinjeni objekti. To su npr. razne vrste kaptažnih galerija, eksploatacijski zdenci (kopani, bušeni), tuneli, površinske akumulacije i slično. Teoretski, dozvoljena količina crpljenja ne bi trebala dovesti do povećanja saliniteta crpljene vode. No, eksploatacija, a posebno preeksploatacija podzemnih voda tijekom ljetnih sušnih razdoblja narušava prirodni odnos i više ili manje djeluje na položaj zone miješanja slane i slatke vode. Crpljenje uobičajeno uzrokuje konusno podizanje slane vode i granice miješanja prema objektu. Ovisno o vertikalnoj, ali dijelom i o horizontalnoj, propusnosti stijena, dotoku vode iz zaleđa i dubini zdenaca ovo podizanje može biti većih ili manjih razmjera. U pojedinim slučajevima eksploatacija podzemnih voda uvjetuje učestalije i naglašenije pojave zaslanjivanja na vodozahvatima na kojima se takva pojave povremeno događaju u prirodnim uvjetima.

Planom upravljanja vodnim područjima (PUVP) za razdoblje od 2016. do 2021. godine (NN 66/16) izdvojena su dva TPV u krškom području Republike Hrvatske koja su procijenjena da se nalaze „u lošem stanju“ i kategoriji „u riziku“. Jedno od njih, TPV Bokanjac-Poličnik izdvojeno je upravo zbog povremenih problema sa zaslanjenjem radi utjecaja mora na više crpilišta u slivu, pri čemu je na jednom od vodocrpilišta (priobalni izvor Golubinka) redovita pojava zaslanjenja uvjetovana i prirodnim značajkama cirkulacije podzemnih voda.

U svrhu definiranja nacionalnih kriterija za utvrđivanje stanja TPV kod pojave zaslanjenja odabrano je TPV Bokanjac-Poličnik kao pilot područje. Naime, na području Hrvatske za sada ne postoji način na koji se ocjenjuju rizici od zaslanjivanja koji su vezani uz režim eksploatacija podzemnih voda. Na TPV

Bokanjac-Poličnik je u sklopu ove studije proveden operativni monitoring zadan PUVP (NN 66/16) izvođenjem dodatnih bušotina i postavljanjem mjernih uređaja u njih po dubini vodonosnika, dodatnim monitoringom površinskih voda, hidrološkom i hidrogeološkom analizom dobivenih podataka. Konačan cilj ove studije je predlaganje nacionalnih kriterija za utvrđivanje stanja priobalnih TPV obzirom na pojave zaslanjenja što je izvedeno korištenjem svih podataka monitoringa provedenog u sklopu ove studije, ali i podataka prethodnih istraživanja i nacionalnog nadzornog monitoringa na području TPV Bokanjac-Poličnik.

U sklopu ugovorenog programa istraživanja izvedeni su sljedeći radovi:

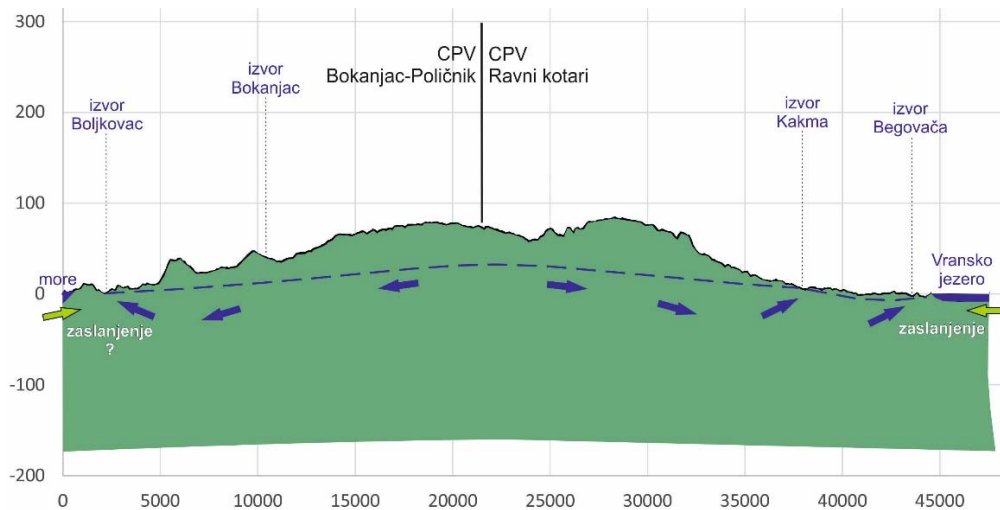
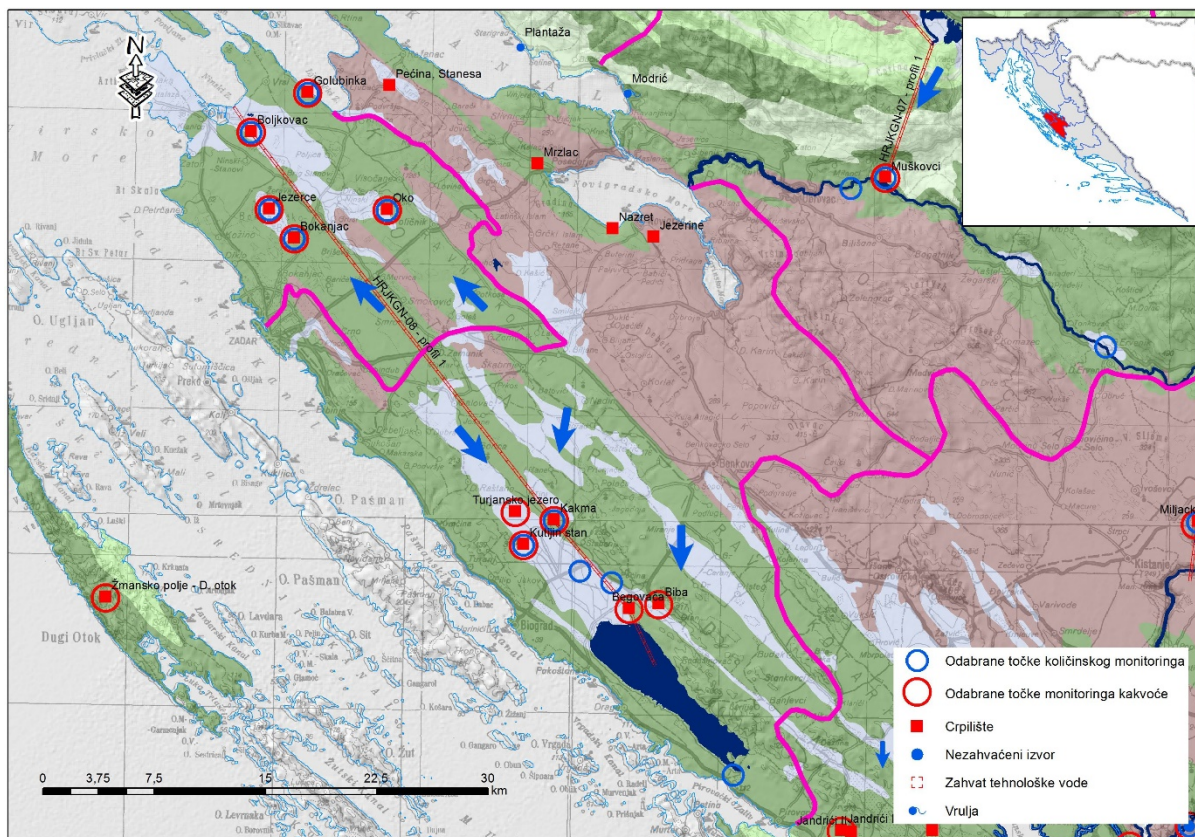
- Pripremni radovi i lociranje piezometarskih bušotina
- Organizacija i provedba monitoringa podzemnih voda
- Organizacija i provedba monitoringa površinskih voda
- Analiza korištenja podzemne vode po koncesijskim dozvolama na području TPV
- Hidrološka analiza svih u projektu prikupljenih podataka o klimatskim prilikama i hidrološkim značajkama površinskih i podzemnih voda
- Hidrogeološka analiza svih prikupljenih podataka o podzemnim vodama na području TPV Bokanjac-Poličnik
- Analiza višegodišnjih podataka o kritičnim stanjima i usporedba s podacima monitoringa
- Prijedlog mjera za smanjenje rizika od potencijalnog zaslanjenja podzemnih voda na području TPV Bokanjac-Poličnik
- Prijedlog kriterija za utvrđivanje stanja TPV kod pojave zaslanjenja u priobalnim krškim vodonosnicima

U ovoj studiji prikazani su rezultati svih istraživanja i analiza provedenih u skladu sa zahtjevima projektnog zadatka. Njegova je realizacija protekla u razdoblju od dvije hidrološke godine 2017./18. i 2018./19., iako je početno, po dobivenom projektnom zadatku, planirano samo tijekom jedne. Razlog tome ugovornom produljenju roka su neuobičajeno vodne hidrološke prilike tijekom početne godine realizacije projekta, tijekom koje su zabilježene i ekstremne poplave na širem istraživanom području, kao i u najbližim gradovima Zadru i Ninu. Uslijed toga je i situacija s prihranjivanjem podzemnih voda bila iznimno povoljna, te tijekom ljeta 2018. godine nisu zabilježene pojave zaslanjivanja na izvorištima na kojima se one inače uobičajeno javljaju u situacijama pojačanih crpljenja tijekom ljetnog sušnog razdoblja, kao i nakon njega, kada pri pojavama intenzivnijih jesenskih oborina dolazi do razbijanja ravnoteže slane i slatke vode u njihovim vodonosnicima.



## 2. Opis istraženog područja

Tijelo podzemne vode (TPV) Bokanjac-Poličnik obuhvaća relativno zaravnjeno područje od Ninskog i Ljubačkog zaljeva na sjeverozapadu do Gornjeg i Donjeg Zemunika. Ovom TPV pripada i obalno područje od uvale Ljubač preko Nina do Zadra. Ukupna površina TPV je 302 km<sup>2</sup>. Nadmorske visine su od razine mora do oko 120 m n.m. Morfološki je to blago valovit teren kao posljedica prostiranja boranih geoloških struktura dinarskog smjera pružanja smjera sjeverozapad-jugoistok. Karbonatne stijene izgrađuju uzdignute dijelove terena, a klastične naslage uzdužne doline. U jednoj takovoj depresiji prostiranja duž obalne linije u zaleđu grada Zadra je Bokanjačko blato.



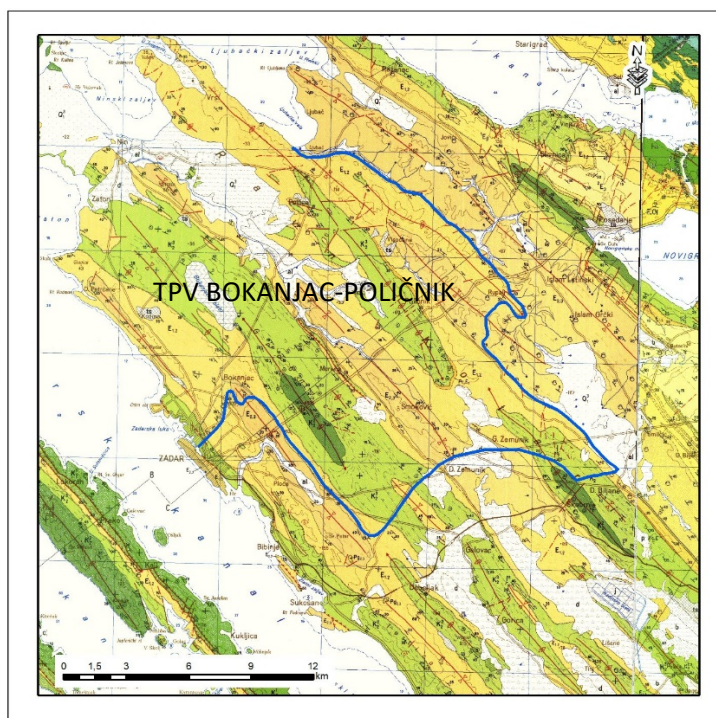
Slika 2-1. Konceptualni model TPV Bokanjac-Poličnik (BIONDIĆ, R. et al., 2016)

## 2.1. Geološki i hidrogeološki opis TPV Bokanjac-Poličnik

### 2.1.1. Geološki opis područja TPV Bokanjac-Poličnik

U geološkom pogledu TPV Bokanjac-Poličnik je formirano u karbonatnim stijenama Jadranske karbonatne platforme s karakterističnom ljuskavom strukturom, u kojoj se izmjenjuju vodopropusne karbonatne stijene i vodonepropusni klastiti. Jezgre antiklinalnih dijelova izgrađuju vapnenci gornjokredne, a sinklinalne fliš paleogenske starosti. Prostiranje ljuskavih formi je sjeverozapad – jugoistok i to je ujedno i smjer prostiranja stijena različitih hidrogeoloških karakteristika. Od pokrovnih naslaga važnu hidrogeološku ulogu imaju jezerski sedimenti na području Bokanjačkog blata, a značajno prostiranje ima i crvenica i eolski sedimenti, koji prekrivaju velike prostore i važni su za razvitak poljoprivrede.

Za opis geoloških značajki područja TPV Bokanjac-Poličnik korišteni su podaci s Osnovne geološke karte SFRJ – list Zadar (MAJČEN *et al.*, 1969) i velikog broja hidrogeoloških i hidroloških stručnih elaborata rađenih za potrebe zaštite vodocrpilišta (FRITZ *et al.*, 1994), izrade injekcijske zavjese (PAVLIN, 1974, 1976; FRITZ & PAVIČIĆ, 1975), izrade studija vodoopskrbe (ŽUGAJ, R. *et al.*, 1994), kao i izrade hidrogeoloških studija (FRITZ, 1976) i vodoistražnih radova (FRANIĆ & BOSNA, 1971).



Slika 2.1-1. Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ – list Zadar (MAJČEN *et al.*, 1969) s označenom granicom TPV Bokanjac-Poličnik

Najstarije stijene registrirane na području TPV Bokanjac-Poličnik su **vapnenci bogati rudistnom faunom turonske starosti ( $K_2^2$ )**. Na području Ravnih kotara ove se naslage nalaze u jezgrama antiklinalnih struktura i predstavljaju najmlađe naslage turona. Taložene su u relativno mirnim uvjetima sedimentacije grebenskog i subgrebenskog područja. Djelomično se naslage gustog, kompaktnog vapnenaca izmjenjuju lateralno i vertikalno s naslagama dolomita što je uvjetovano promjenom fizičko-kemijskih uvjeta u sedimentacijskoj sredini. Debljina slojeva je između 20 i 60 cm, a ukupna debljina naslaga turonske starosti se procjenjuje na oko 470 m.

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

Najstarije naslage paleogenske starosti su **pločasti, tanko uslojeni vapnenci tzv. Liburnijske naslage ( $Pc, E_1$ )**, transgresivno taložene na rudistnim vapnencima senonske starosti, koje kontinuirano prelaze u foraminiferske vapnence. Radi se o smeđim, žućkastim i crvenkastim gustim vapnencima glatkog školjkastog loma. Transgresivna granica je označena visokim stupnjem erozije rudistnih vapnenaca s pojavama boksita, visokim stupnjem raspucanosti vapnenaca i često ružičastom bojom brečolih vapnenaca. Na mlađim naslagama je potpuna konkordancija i kontinuitet. Debljina ovih naslaga se procjenjuje na oko 20 m.

**Foraminiferski vapnenci ( $E_{1,2}$ )** su transgresivno taloženi na Liburnijske naslage, a sastoje se od miliolidnih, alveolinskih i numulitnih vapnenaca i njihovog kontinuiranog prijelaza u klastite srednjeg eocena. Nazivi foraminiferskih vapnenaca su vezani za prevladavajuće kolonije foraminifera. Završni član prelaznih naslaga prema klastitima fosilno znatno osiromašuje (pojave glaukonita) uz povećanje udjela laporovite komponente u litološkom sastavu. Foraminiferski vapnenci su detritični, žuto-smeđe do svijetlosive boje, neravnog loma. Uslojeni su, ali je slojevitost samo mjestimice dobro vidljiva, a češće je zbog trošenja i okršenosti naslaga prikrivena. Debljina ovih naslaga iznosi do 330 m.

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

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

Prestankom taloženja fliša i Prominskih naslaga prestaje marinska sedimentacija na karbonatnoj platformi Dinarida i započinje razdoblje kvartara, razdoblje intenzivnih površinskih erozijskih procesa, okršavanja velike mase karbonatnih stijena, pronosa rastrošenog materijala prema depresijama tadašnjeg reljefa i stvaranja današnje mreže površinskih i podzemnih tokova.

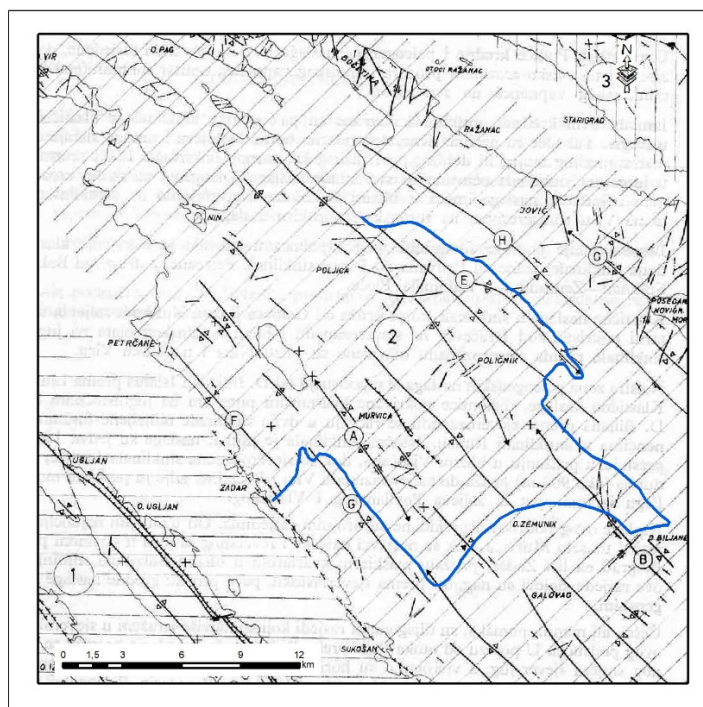
Tijekom kvartara došlo je do sedimentacije rastrošenog materijala u morfološkim depresijama i to je vrlo izraženo na području Ravnih kotara zbog specifičnog reljefa. U okolini Nina taloženi su **pijesci ( $Q_1^3$ )** koji nose obilježja svojstvena sedimentu tipa lesa ili prapora. Okarakterizirani su sortiranjem, koje je odraz intenzivnog kretanja zračnih struja, kao i heterogenim interkalacijama što je rezultat periodične intenzivne erozije izdignutog reljefa i miješanja s lokalnim materijalom. Debljina ovih pijesaka se procjenjuje do 12 m.

**Naslage crvenice (ts)** rasprostranjene su na čitavom području TPV Bokanjac-Poličnik. Relativno su male debljine te čak ne pokrivaju niti sve primarne izdanke. Nastaje hidrokemijskim procesima destrukcije karbonatnih naslaga čiji je netopiv ostatak snažan i nagomilavan u depresijama reljefa. Trošenjem klastičnih naslaga, crvenici je često znatno povećan i postotak teških minerala.

**Jezerski i barski sedimenti (j)** razvijeni su na području TPV Bokanjac-Poličnik kod danas isušenog Bokanjačkog blata. Radi se o pretežno sivoj muljevitoj ilovini mjestimice prekrivenoj crnim masnim humusom.

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

**Aluvijalne naslage (al)** predstavljaju nanos potočnih voda koji se taloži uz jače tokove. Nastao je trošenjem primarnih stijena te klastičnih naslaga, kao i pretaloženjem kvartarnih naslaga deluvija i crvenice.



Slika 2.1-2. Pregledna tektonska karta iz Osnovne geološke karte SFRJ – list Zadar (MAJČEN et al., 1969) s označenom granicom TPV Bokanjac-Poličnik (Tumač oznaka: 2. područje Ravnih kotara, A. antiklinala Grabnica, E. antiklinala Rupanj, F. sinklinala Petrčane, G. sinklinala Ploče)

Tektonska slika dijela Ravnih kotara u širem području Bokanjačkog blata je relativno jednostavna, jer radi se o nizu bora dinarskog smjera prostiranja s karbonatnim stijenama u antiklinalnom dijelu i flišom u sinklinalnim dijelovima bora. Međutim, promatrajući širi prostor područje Bokanjačkog blata je smješteno u krajnjem sjeverozapadnom dijelu geološke strukture Ravnih kotara u blizini izrazite strukturno-tektonske promjene, koju čini planinski lanac Velebit, koji je prema brojnim autorima djelomično navučen preko boranih struktura Ravnih kotara, koje se nastavljaju na sjeverno Jadranske otoke. Na području Bokanjačkog blata relativno jednostavne borane forme prate dijagonalni rasjedi na sjeveroistočnim rubovima boranih struktura, važni za stvaranje barijera kretanju podzemne vode. Niz

antiklinalnih i sinklinalnih struktura karakteriziraju različiti kutovi nagiba slojeva, sekundarno boranje, tonjenje osi bora, promjenjiva širina izdanaka te varijacije u sastavu krila i jezgara bora.

Najšira vapnenačka zona se pruža od Zatona na sjeverozapadu, preko Bokanjačkog blata prema Galovcu na jugoistočnom rubu TPV Bokanjac-Poličnik. Na sjevernom dijelu TPV Bokanjac-Poličnik nalazi se antiklinalna struktura Rupanj. Između ovih krednih antiklinala nalaze se paleogenske sinklinalne strukture s naslagama fliša u jezgri. Jedna je sinklinala Petrčane koja se pruža od Petrčana do Dipla, a druga je sinklinala Ploče čije je pružanje od Bokanjca do ceste Sukošan-Zemunik.

Najizraženiji rasjed na području TPV Bokanjac-Poličnik je reversni rasjed uz selo Murvica uz koji su slojevi nagnuti prema sjeveroistoku te kredne naslage leže na mlađim paleogenskim naslagama. Češći su dijagonalni rasjedi koji imaju manje pomake i najviše su izraženi u sjeveroistočnom dijelu Ravnih kotara gdje stepeničasto pomiču geološke granice i trase slojeva u pružanju.

### **2.1.2. Hidrogeološki opis TPV Bokanjac-Poličnik**

TPV Bokanjac-Poličnik obuhvaća područje sjeverozapadnog dijela Ravnih kotara koje se nalazi u zaleđu Zadra. U geološkom pogledu vodno tijelo podzemne vode je formirano u karbonatnim stijenama Jadranske karbonatne platforme s karakterističnom ljuskavom strukturom, u kojoj se izmjenjuju vodopropusne karbonatne stijene i vodonepropusni klastiti. Jezgre antiklinalnih dijelova jezgri izgrađuju vapnenci gornje kredne starosti, a sinklinalne fliš paleogenske starosti. Prostiranje ljuskavih formi je sjeverozapad – jugoistok i to je ujedno i smjer prostiranja stijena različitih hidrogeoloških karakteristika.

Podzemni tokovi su vezani za vodopropusne karbonatne stijene, okršene puno dublje od recentne razine mora zbog nižih razina mora tijekom kvartara. Do razine Škabrnje i Zemunika Donjeg podzemni tokovi su usmjereni prema sjeverozapadu, Ninskom i Ljubačkom zaljevu, gdje su smješteni jaki krški izvori (Golubinka, Boljkovac), koji su kaptirani za vodoopskrbu. Posebni značaj imaju izvori i zdenci u Bokanjačkom blatu, koji su dugo godina bili jedini vodoopskrbni izvori grada Zadra, međutim povećanjem potreba za vodom i povećanim crpljenjem vodoopskrbni objekti su došli pod utjecaj mora, iako su desetak kilometara udaljeni od mora. Slična je sudbina i ostalih kaptiranih izvora u tom području, što ukazuje na postojanje morske vode ispod slatkovodnog sustava u dubokom krškom podzemlju i dizanje zone miješanja u uvjetima slabljenja pritiska slatke vode.

Hidrogeološke karakteristike krških područja ovise o litološkom sastavu stijena, načinu nastanka krškog sustava, stupnju deformacija stijena, prividnim brzinama podzemnih tokova, položaju izvora i ponora, stanju stijena u istražnim bušotinama i eksploatacijskim objektima i drugim elementima koje istraživač smatra važnim za identifikaciju hidrogeoloških odnosa.

Važan element u hidrogeološkoj analizi krškog vodonosnog područja su hidrogeološke karakteristike stijena ocijenjene prema litološkom sastavu pojedinih litostratigrafskih članova i stupnju deformacija stijena na površini terena i podzemlju. Na području TPV Bokanjac-Poličnik izdvojene su četiri osnovne grupe stijena različitih hidrogeoloških karakteristika:

1. Dobro vodopropusne okršene karbonatne stijene (pretežito vapnenci)
2. Srednje vodopropusne okršene karbonatne stijene (dolomiti i vapnenci u izmjeni)
3. U cjelini vodonepropusne stijene (paleogeni klastiti - fliš)
4. Naslage promjenjive vodopropusnosti relativno male debljine (kvartarne naslage).

Znatnu površinu istraživanog područja pokrivaju dobro vodopropusne karbonatne stijene. To su uglavnom vapnenci bez ili s malom količinom dolomita. Poroznost im je sekundarna, pukotinska. Litološka svojstva, strukturni položaj, intenzitet tektonskih deformacija i stupanj okršenosti uvjetuju veliku vodopropusnost. Uobičajeno su zone glavnih dreniranja podzemne vode duž tektonskih oštećenih zona gdje su vapnenci jače deformirani i okršeni. Veće vodne pojave vezane su za prihranjivanje iz takvih vodopropusnih vapnenaca. Na hidrogeološkoj karti M 1:50.000 (**prilog 1**) označene su tamnozelenom bojom, a odnosi se to na vapnenačke stijene gornjokredne i paleogenske starosti.

Srednje vodopropusne okršene karbonatne stijene su dolomiti i vapnenci u izmjeni. I ove stijene su sekundarne, pukotinske poroznosti, koje su zajedno s vapnencima obuhvaćene tektonskim deformacijama. Dolomiti su slabije okršeni od vapnenaca, a pukotine su ispunjene glinom i dolomitnim pijeskom. Veća vodopropusnost je moguća na mjestima jače razlomljenih zona. Na hidrogeološkoj karti M 1:50.000 (**prilog 1**) označene su svjetlije zelenom bojom. U tu grupu stijena pripada izmjena vapnenaca i dolomita turonske starosti.

Vodonepropusnim klastičnim stijenama pripadaju paleogeni klastiti (fliš). Izmjena lapora i pješčenjaka, pa i konglomerata u mlađem dijelu ovog litostratigrafskog člana čine ove naslage u cjelini vodonepropusnim i predstavljaju barijeru tečenju podzemne vode. Na hidrogeološkoj karti M 1:50.000 (**prilog 1**) označene su smeđom bojom.

Skupini naslaga promjenjive vodopropusnosti relativno male debljine pripada kompleks naslaga kvartarne starosti. Radi se o klastičnim sedimentima, ali uglavnom nevezanim ili poluvezanim. Osim toga te naslage ne ulaze u temeljnu strukturnu građu već su nastale procesima erozije i akumulacije materijala u završnoj kopnenoj fazi stvaranja današnjeg reljefa.

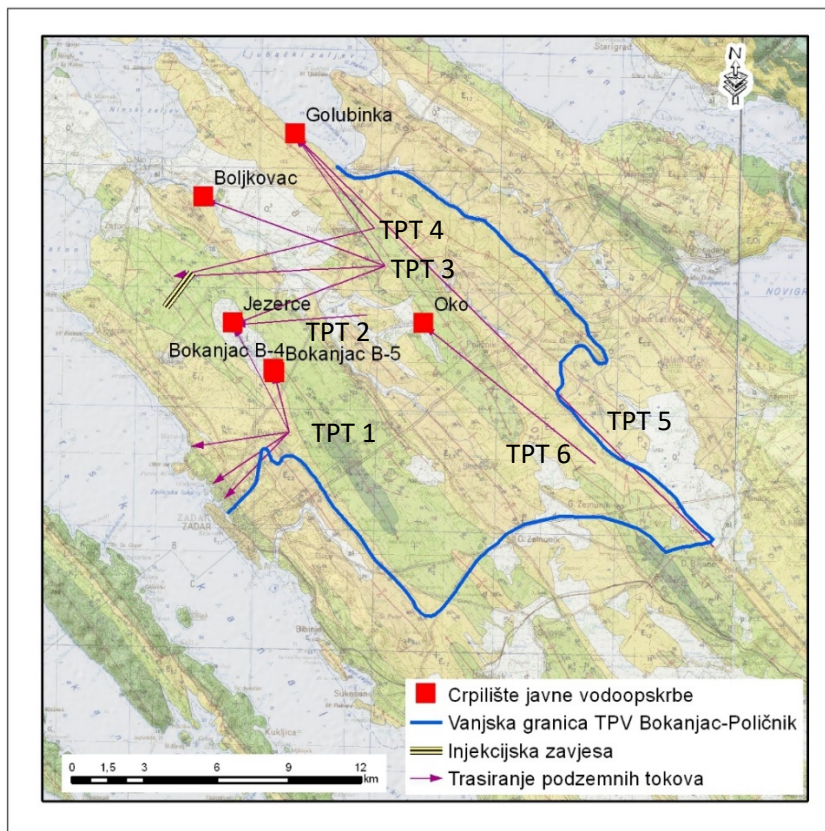
To su:

- Pijesci ( $Q_1^3$ )
- Crvenica (ts)
- Jezerski i barski sedimenti (j)
- Deluvijalni sedimenti (d)
- aluvijalni sedimenti (al)

Propusnost ovih naslaga je međuzrnska, ali iako relativno niska ima nekih razlika. Tako jezerski i barski sedimenti, pijesci, deluvijalni i aluvijalni sedimenti pokazuju karakteristike slabe vodopropusnosti, a crvenica je zbog svog pretežito glinovitog sastava vrlo slabo vodopropusna. Jasno, da vodopropusnost tih naslaga varira od mjesta do mjesta i u krškim terenima Dinarida se ne može računati na neku značajniju akumulaciju vode.

Podzemni tokovi interesantni za vodoopskrbu su vezani za vodopropusne karbonatne stijene, okršene puno dublje od recentne razine mora zbog nižih razina mora tijekom kvartara. To je poznati fenomen u većini obalnih područja u svijetu, pa tako i na Mediteranu. Računa se da su razine mora tijekom zadnjeg ledenog doba bile i do 150 m niže od današnjih, što je omogućilo okršavanje karbonatnih stijena i dinamiku vode u dubokom krškom podzemlju do tih dubina. TPV Bokanjac – Poličnik se prostire od Ninskog i Ljubačkog zaljeva na sjeverozapadu do područja Škabrnje i Zemunika Donjeg, odakle su tokovi podzemne i površinske vode usmjereni prema Bokanjačkom blatu i Ninskom i Ljubačkom zaljevu, gdje podzemne vode izviru na krškim izvorima (Golubinka, Boljkovac), koji su kaptirani za vodoopskrbu. Posebni značaj imaju izvori i zdenci u Bokanjačkom blatu, koji su dugo godina bili jedini vodoopskrbni izvori grada Zadra, međutim povećanjem potreba vodom i povećanim crpljenjem vodoopskrbni objekti su došli u rubne uvjete zadovoljavanja potreba javne vodoopskrbe te je ostatak potrebne vode za javnu vodoopskrbu šireg područja grada Zadra dovoden s rijeke Zrmanje. Izvori i

zdenci na području Bokanjačkog blata bili su povremeno zaslanjeni, iako su desetak kilometara udaljeni od mora. Slična je sudbina i ostalih kaptiranih izvora u tom području, što ukazuje na značajnu intruziju morske vode u duboke dijelove vodonosnika ispod slatkovodnog sustava i dizanje zone miješanja u uvjetima velike eksploatacije i istovremeno slabljenja pritiska slatke vode iz sliva u zaleđu.



Slika 2.1-3. Izvedena trasiranja podzemnih tokova u TPV Bokanjac-Poličnik i položaj injekcijske zavjese nizvodno od Bokanjačkog blata

Na području TPV Bokanjac-Poličnik izvedeno je više trasiranja podzemnih tokova u svrhu određivanja zona sanitarne zaštite, određivanja slivova vodoopskrbnih objekata, ali i procjene utjecaja pojedinih objekata na crpilišta i vodoopskrbne izvore. Podzemne vode u TPV Bokanjac-Poličnik kreću se paralelno ili subparalelno geološkim strukturama u smjeru jugoistok-sjeverozapad u dva odvojena ogranka. Prvi ogranak je sa sjeveroistočne strane fliške barijere koja se pruža od Smokovića prema sjeverozapadu prateći pružanje struktura. Glavnina podzemne voda ovog ogranka prihranjuje priobalni izvor Golubinku i vodocrpilište Boljkovac. Tek nakon zone gdje isklinjava fliška barijera podzemna voda se kreće i okomito na prostiranje struktura, prema vodocrpilištu Jezerce. Drugi ogranak se drenira prema Bokanjačkom blatu i dalje prema Boljkovcu i krajnjem sjeverozapadnom dijelu strukture gdje se podzemna voda difuzno infiltrira u more kod Zatona i Nina.

Izvedena trasiranja mogu se podijeliti u dvije skupine. Prva su trasiranja izvedena u razdoblju od 1966. do 1968. godine. Prvo je izvedeno iz šireg područja naselja Bokanjac (TPT 1 na Slici 2.1-3) 8. lipnja 1966. godine i dokazana je podzemna vodna veza prema zdencu B-5 vodocrpilišta Bokanjac (1 cm/s) i prema vodocrpilištu Jezerce (3,2 cm/s). Također, dokazana je veza prema priobalnim izvorima na području između Zadra i Dikla.

Sljedeće trasiranje je izvedeno 23. siječnja 1967. godine iz područja nizvodno od vodocrpilišta Oko (naselje Zekići) (TPT 2 na [Slici 2.1-3](#)), na području gdje isklinjava fliška barijera, kojim je dokazana podzemna vodna veza prema vodocrpilištu Jezerce (2,9 cm/s).

Trasiranje iz Smokrovića izvedeno je 6. rujna 1968. godine (TPT 3 na [Slici 2.1-3](#)) i njime je dokazana podzemna vodna veza prema vodocrpilištu Jezerce (1,1 cm/s), piezometarskoj bušotini na području Ninskih Stanova (2,3 cm/s), vodocrpilištu Boljkovac (1,1 cm/s) i prema izvoru Golubinka 0,5 cm/s.

Trasiranje iz šireg područja naselja Poljica (TPT 4 na [Slici 2.1-3](#)) izvedeno je 17. ožujka 1968. godine i njime je dokazana podzemna vodna veza prema piezometarskoj bušotini na području ninskih Stanova (1,4 cm/s) i prema izvoru Golubinka (1,4 cm/s).

Jedino pravo regionalno trasiranje na području TPV Bokanjac-Poličnik izvedeno je 26. ožujka 1975. godine iz rubnog dijela sliva prema slivu Vranskog jezera (TPT 5 na [Slici 2.1-3](#)). Traser je ubačen u podzemlje na širem području Poličnika, a dokazana je podzemna vodna veza sa izvorom Golubinka (8,1 cm/s).

Za potrebe mikrozoniranja lokacije budućeg Centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije u okolici Biljana Donjih i Zemunika Donjeg izvedeno je u dva navrata trasiranje podzemnih tokova. Prvo je izvedeno 2006. godine, ali je zbog toga što je izvedeno u sušnom razdoblju ponovljeno 27. ožujka 2007. godine (TPT 6 na [Slici 2.1-3](#)). Traser se je pojavio na vodocrpilištu Oko (2,5 cm/s) ([MUNDA et al., 2007](#)), ali u mrežu opažanja nije bilo uključeno vodocrpilište Jezerce te je ostao nepoznat odnos područja sliva oko Zemunika Gornjeg i vodocrpilišta Jezerce.

Prirodni uvjeti dinamike površinske i podzemne vode djelomično su promijenjeni izgradnjom tunela (1962.) kojim se poplavne vode Bokanjačkog blata odvede prema Miljušić jaruzi (od 1963.) Time se sprečava formiranje povremenog ujezerenja na području Bokanjačkog blata. Prije izgradnje ovog objekta područje Bokanjačkog blata je povremeno plavilo i polagano se praznilo u povremene ponore u sjeverozapadnom dijelu polja. Izgradnjom tunela područje Bokanjačkog blata više ne plavi i time je omogućena stalna poljoprivredna djelatnost na ovom području. Za tu su potrebu izgrađeni sustavi kanala za navodnjavanje i odvodnjavanje. No, s druge strane, taj zahvat je promijenio i uvjete prihranjivanja podzemnih voda, odnosno smanjio pozitivan utjecaj infiltriranih površinskih voda na hidrogeološke uvjete u vodonosniku. Drugi veći zahvat bila je izgradnja injekcijske zavjese dubine oko 40 m koja je sredinom sedamdesetih godina prošlog stoljeća izgrađena nizvodno od Bokanjačkog blata za sprječavanje zaslanjenja vodoopskrbnih objekata na Bokanjačkom blatu i dubljeg prodora zaslanjene morske vode u vodonosnik. Današnja iskustva su pokazala da je to bio preplitki zahvat uzimajući u obzir moguću dinamiku podzemne vode i prodora mora u krško podzemlje na većim dubinama od tadašnjeg objekta.



## 2.2. Hidrološki opis TPV Bokanjac-Poličnik

Geološka građa TPV Bokanjac – Poličnik, odnosno naizmjenično pružanje vodopropusnijih i vodonepropusnijih naslaga u smjeru sjevero-zapad te jugo-istok uvjetovala je formiranje i rasprostiranje hidrografske mreže površinskih vodotoka na tom području. Glavni površinski vodotok je Miljašić jaruga, a osim na njenom prirodnom neposrednom slivu, površinske vode karakteriziraju i njen najznačajniji pritek - Bokanjačko blato s kojim je umjetno povezana tunelom (Slika 2.2-1). Miljašić jaruga je središnji vodotok zapadnog dijela Ravnih kotara koje se ističe dobro razvijenom hidrografskom mrežom površinskih i podzemnih vodnih. Njezin sliv (vlastite površine 127,6 km<sup>2</sup>) čini niska i blago valovita zaravan koja je od istočnog ruba sliva na području Zemunika blago nagnuta prema sjeverozapadu, odnosno ušću u Ninski zaljev. Svoj tok Miljašić jaruga započinje na koti od oko 88 m n.m. i nakon 25 km toka utječe u more oko 900 m sjeveroistočno od stare gradske jezgre Nina. Nekada je ušće bilo upravo na području Nina čije je urbano jezgro i formirano na njegovim naplavinama, no u razdoblju 1903. do 1909. godine provedena je regulacija ušća i ono je premješteno nešto sjevernije, čime su se stvorili uvjeti za obnovu solana (1955. godine) u neposrednom zaleđu Nina.



Slika 2.2-1. Hidrografska mreža Miljašić jaruge - prikaz hidroloških postaja (1), granica sliva i podslivova (2), te važnijih smjerova dreniranja površinskih voda

Glavne pritoke Miljašić jaruge u njenom gornjem dijelu sliva su kraći bujični vodotoci Menjača i Briševačka jaruga, dok u svom srednjem dijelu toka, od izgradnje 2,032 km dugog tunela (kojemu je maksimalni kapacitet oko 12 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) 1962. godine (u funkciji od 1963.) prihvaća vode iz Bokanjačkog blata (HRVATSKE VODE, 2014), čime joj se sliv povećava za još oko 55 km<sup>2</sup>. Do prokopa spomenutog tunela Bokanjačko blato je bila prirodna zamočvarena depresija u kojoj se je najveći dio godine

zadržavala ujezerena voda, no zbog poticanja razvoja poljoprivrede provedeni su hidromelioracijski radovi, te je jezero prokopom tunela isušeno. Na početku svoga donjega dijela toka neposredno uz Miljašić jarugu nalazi se izvor Boljkovac s koga je još u antičko doba akvaduktom dovedena voda do Nina (ILAKOVAC, 1976), a i sad je u vodoopskrbnom sustavu Vodovoda Zadar, s povremenim problemima uslijed povećanog sadržaja klorida.

Miljašić jaruga drenira vrlo značajni dio površina Ravnih kotara. Procjena pojavnosti voda u njenom koritu, pritokama ili pak Bokanjačkom blatu s kojim je tunelom hidrografski povezana, provodi se uglavnom s aspekta pojavnosti velikih voda i zaštite od njih u sklopu pripreme tehničkih rješenja pojedinih objekata, ili pak za potrebe ocjene pojavnosti zapaženih ekstremnih prilika. Prva su razmišljanja o potrebi uređenja Miljašić jaruge datirana za 1908.g. kada su se radila varijantna rješenja odvodnje Bokanjačkog blata – prema jednom koje je kasnije usvojeno planirano je prebacivanje voda Bokanjačkog blata u Miljašić jarugu, a po ostalim varijantama direktno prema Zatonu, Kožinama i Diklu. Već 1912.g. provedena je regulacija donjeg dijela toka Miljašić jaruge i asanacija močvara, nekadašnjih solana kod Nina, kao prva faza kasnije provedenog rješenja odvodnje Bokanjačkog blata u Miljašić jarugu. Tijekom 1942.g., za vrijeme talijanske okupacije, napravljen je generalni projekt za melioraciju Bokanjačkog blata i prevođenje voda u Miljašić jarugu, no čija je daljnja realizacija nastavljena tek nakon II svjetskog rata, kada je počela i intenzivnija eksploatacija podzemnih voda na području Bokanjačkog blata. S početka šezdesetih godina datiraju čak dvije hidrološke studije Bokanjačkog blata (GF ZG, 1960; PROJEKT, 1961a), kao i projekt „Bokanjačko blato, Odvodnja – Regulacija Miljašić jaruge“ (PROJEKT, 1961b) nakon kojih je 1962. godine izgrađen spojni tunel između Bokanjačkog blata i Miljašić jaruge.

U spomenutoj studiji projekta (PROJEKT, 1961b), na temelju metode određivanja maksimalnih protoka po metodi prof. Srebrenovića, proračunate protoke su bile  $Q_{20}=45,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ,  $Q_{50}=54,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ,  $Q_{100}=59,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , a maksimalna katastrofalna voda je procijenjena s vrijednošću  $95 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . U projektu Miljašić jaruga kod imanja PPK-Zadar, Komesarije“ (VRO SPLIT, 1989) proračunata 20-godišnja maksimalna protoka na dionici toka između stacionaža km 0+500 do 2+000, određena također na temelju empirijskih metoda proračuna, bila je  $52,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , a koja je preuzeta kao mjerodavna za projekt „Uređenje korita Miljašić jaruge, dionica od km 0+500 do km 2+000 (HRVATSKE VODE, 2005), dok je prema PEŠI (2017) najnižvodnija dionica toka Miljašić jaruge kroz Nin dimenzionirana na protoku 25-godišnjeg povratnog perioda od  $55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Pojava katastrofalne poplave 2017. godine, ocijenjena je s vršnom protokom od  $130 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (OSKORUŠ et al., 2017), a zabilježene velike vode s aspekta pojavnosti maksimalnih vodostaja kretale su se oko 1000-godišnjeg povratnog perioda, ili ga čak i premašuju.

Prva poznata hidrološka studija koja je analizirala hidrološke prilike na analiziranom području na temelju opaženih nizova podataka bila je spomenuta studija „Bokanjačko blato – hidrološka studija (PROJEKT, 1961a), no i u njoj je predmet interesa bila procjena značajki poplavnih voda na području Blata (maksimalnih razina i protoka). U njoj su korišteni podaci o dnevnim razinama vode u nadzemnom dijelu Bokanjačkog blata i njegovom podzemlju tijekom razdoblja 1953.-1960., a dijelom i raspoloživih podataka o mjesečnim razinama vode i palim oborinama (1935.-1938.) iz doba talijanske uprave. Prema tim podlogama, dana 30.9.1959. godine zabilježena je najniža razina vode na tom prostoru od 14,51 m n.m., a najveća dana 13.4.1951. s razinom od 21,44 m n.m., prema čemu je amplituda kolebanja razina iznosila gotovo 7 m. Radi usporedbe, razina terena na području Bokanjačkog blata kreće se uglavnom između 17,5 i 20 m n.m.

Nakon izgradnje tunela između Bokanjačkog blata i Miljašić jaruge, izrađena je Hidrološka studija Bokanjačkog blata (GF ZG, 1969), čiji je zadatak bio da istraži uzroke smanjenja kapaciteta crpnih bunara Vodovoda Zadar, a što je u spomenutoj studiji dovedeno u vezu sa smanjenjem trajanja visokih voda na prostoru Bokanjačkog blata nakon izgradnje tunela.

Prema navodima u studiji **ELEKTROPROJEKTA (1993)**, u elaboratu „Bokanjačko blato, injekcijska zavjesa zapadna, idejni projekt“ kojeg je bio nositelj Elektroprojekt tijekom 1974.g., procijenjeni srednji godišnji dotok za ukupni sliv Bokanjačkog blata, Miljašić jaruge i izvorišta Golubinka (210 km<sup>2</sup>) u srednjoj hidrološkoj godini iznosi 2,8 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, a u sušnoj 1,7 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. No prema danom navodu na osnovu podataka o mjerenjima protoka zabilježeno je značajnije manje - u srednjoj hidrološkoj godini 1,6 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, a u sušnoj 1,005 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. No, ne navodi se na osnovu kojih je to podataka utvrđeno.

U studiji „Bokanjačko blato – hidrološke analize s aspekta potreba i mogućnosti vodoopskrbe (**GRAĐEVINSKI INSTITUT SPLIT, 1978**) analizirani su međuodnosi dotoka i istjecanja voda kroz Bokanjački tunel, te je utvrđeno da se na izlazu tunela javljaju vode i u situacijama kada dotoci u tunelu presuše. To je dalo ideju da se vodoopskrba u kritičnim ljetnim mjesecima dijelom pokrije korištenjem i tih rezervi podzemnih voda, kao i smanjenjem gubitaka iz vodoopskrbne mreže.

Studija **ELEKTROPROJEKTA (1994)** daje procjene vodne bilance, temeljenu dijelom na mjerenim podacima o protokama, a dijelom na osnovi analize međuveza otjecanja i oborinama. Ukupno za sliv izvora Golubinke i Miljašić jaruge (na profilu Poljaki) za razdoblje 1961.-1979. procijenjen je srednji godišnji protok od 1,06 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, a za 1980.-1990. oko 22% manje - 0,825 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. To se manifestiralo i na smanjenju količina crpljenja, pa je tako sr. god. crpljenje na Bokanjcu i izvoru Boljkovac za razdoblje 1972.-1979. iznosilo 0,286 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, a za 1980.-1990. oko 18% manje - 0,234 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Utvrđeno je da na analiziranom području vodni resursi imaju vrlo velike varijacije u protocima i vrlo nepovoljan raspored, pri čemu se kod izvora Golubinka javljaju značajni saliniteti naročito kod protoka nižih od 200 L/s.

### **2.3. Prikaz crpilišta u TPV Bokanjac-Poličnik**

Na istraživanom području se nalazi više crpilišta javne vodoopskrbe: Boljkovac, Bokanjac, Jezerce, Oko i Golubinka od kojih većina ima povremene probleme sa povišenim koncentracijama klorida. To se posebno odnosi na izvorište Golubinka i vodocrpilište Boljkovac, dok se na vodocrpilištu Jezerce zaslanjenje javlja povremeno, a i zdenci vodocrpilišta Bokanjac se nalaze u zoni utjecaja te uslijed prekomjernih crpljenja iznimno može i kod njih doći do povišenja koncentracije klorida. Radi se o prostoru na kojem je do 1963. godine postojalo povremeno jezero, sa zadržavanjem površinskih voda i do devet mjeseci tijekom godine, no koje je prokopom odvodnog tunela prema površinskom vodotoku Miljašić jaruzi isušeno, a na prostoru nekadašnjeg dna jezera su izvedeni hidromelioracijski kanali čime je to područje privedeno poljoprivrednoj namjeni. Ta je promjena izazvala i promjene u režimu otjecanja podzemnih voda, smanjenje infiltracije površinskih voda u podzemlje tijekom većeg dijela godine, kao i sniženje razina podzemnih voda, pogotovo u uvjetima povećanih crpljenja za potrebe vodoopskrbe tijekom dugotrajno sušnih razdoblja te njihovu veću osjetljivost na dublje prodore zaslanjene morske vode u priobalni vodonosnik te TPV.

**Vodocrpilište Bokanjac** je najstarije crpilište pitke vode, smješteno na istočnom rubu depresije Bokanjačkog blata. Sastoji se od 5 zdenaca od kojih su dva danas u upotrebi. Izgradnja suvremenog vodovoda grada Zadra započinje 1900. godine, a već 1901. godine izgrađen je prvi zdenac (B-1) u sklopu zgrade za crpno postrojenje. Zdenac B-2, dubine 20 m, izgrađen je 1902. godine, a uz ta dva zdenca izvedena je i vodosprema kapaciteta 500 m<sup>3</sup> i crpna stanica kapaciteta 27 l/s. Cjevovod dužine 5,1 km povezivao je crpilište s gradom. Već 1910. godine izgrađen je zdenac B-3, dubine 9,6 m, s posebnom crpnom stanicom kapaciteta 23,6 l/s. Ti zdenci se danas više ne koriste jer zdenac B-1 povremeno presušuje, B-2 ima niski kapacitet, a B-3 služi kao pričuva za zimski pogon (**KALEB et al., 2005**).

Zdenac B-4 (Slika 2.3-1) promjera oko 3 m, dubine 18,5 m te prosječnog kapaciteta oko 100 l/s izgrađen je 1949. godine. Smješten je između zdenaca B-2 i B-3. U njega su ugrađene tri crpke sa maksimalnom mogućom količinom crpljenja od 250 l/s. Tijekom ljetnih sušnih razdoblja kapacitet mu pada na svega 30 l/s.



Slika 2.3-1. Zdenac B-4 na vodocrpilištu Bokanjac

Zdenac B-5 (Slika 2.3-2) promjera 4,85 m, dubine 17,6 m izgrađen je 1961. godine. U njega su ugrađene dvije crpke sa maksimalnom mogućom količinom crpljenja od 250 l/s no tijekom ljetnih sušnih razdoblja se ne koristi jer se u tom razdoblju koristi nešto dublji zdenac B-4 (KALEB et al., 2005; TERZIĆ & LUKAČ REBERSKI, 2013). Tijekom ekstremnih ljetnih sušnih razdoblja zdenac br. 5 presušuje, a takav je slučaj zabilježen 2012. godine kada je presušio na više mjeseci.



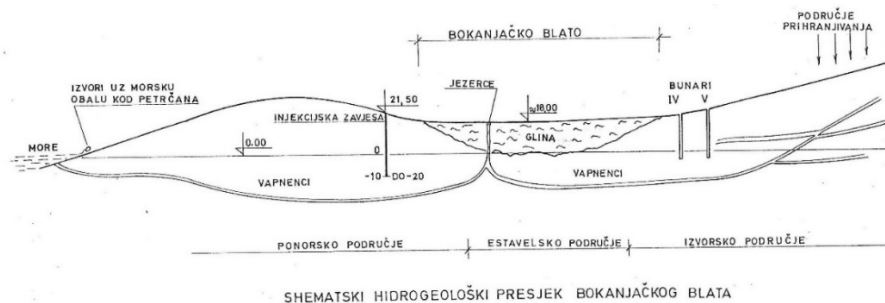
Slika 2.3-2. Zdenac B-5 na vodocrpilištu Bokanjac

**Vodozahvat Jezerce** (Slika 2.3-3) izveden je na istoimenoj estaveli u području Ninskih Stanova i nalazi se u središnjem dijelu Bokanjačkog blata, između zdenaca Bokanjačkoga blata i mora na oko 7 km od obalne linije. Od zdenaca br. 4 i br. 5 udaljen je svega 2,5 km. Kaptiran je 1969. godine kao kopani zdenac dubine 14,5 m. U zdenac su ugrađene tri crpke ukupnog kapaciteta oko 400 l/s. Tijekom ljetnih sušnih razdoblja kapacitet zdenca pada na oko 90 l/s (KALEB et al., 2005; TERZIĆ & LUKAČ REBERSKI, 2013).

Pojave zaslanjenja na vodozahvatu Jezerce su česte i vezane uz dugotrajna sušna ljetna razdoblja. Iz toga razloga izgrađena je 1974.-1975. godine injekcijska zavjesa dužine 1.580 m, promjenjive dubine od 25 do 45 m (Slika 2.3-4). Kota gornjeg ruba injekcijske zavjese je 21,5 m n.m., a donja kota se mijenja ovisno o lokalnim geološkim uvjetima od -10,0 do -25,0 m n.m. Injekcijska zavjesa se nalazi neposredno nizvodno od područja Bokanjačkog Blata presijecajući strukture koje su istraživanjima označene kao propusne i kroz koje su otjecale vode iz Bokanjačkog Blata prema Zatonu, odnosno morskoj obali. Zavjesa je imala dvije funkcije. Prva se je odnosila na ideju ostvarivanja akumulacije u Bokanjačkom Blatu ponovnim zatvaranjem odvodnog tunela i čepljenjem propusne zone prema moru, no ta ideja nije nikad ostvarena. U tom bi slučaju bilo potrebno izvesti rekonstrukciju crpilišta. Druga je bila usmjerena prema sprečavanju prodora zaslanjene vode iz priobalnog područja od Zatonu prema zdencima vodocrpilišta Bokanjačko Blato i Jezerce, odnosno presijecanje tih „podzemnih puteva“. Iako je zavjesa izvedena, i dalje tijekom ljetnih sušnih razdoblja dolazi do povećanja koncentracije klorida pogotovo na vodocrpilištu Jezerce koje se nalazi uzvodno od zavjese. Prema ŽUGAJ, R. et al. (1994) na vodocrpilištu Jezerce zaslanjenje nastupa kada razine podzemne vode padnu ispod 4,30 m n.m. tijekom ljetnim sušnim razdobljima, što se tumači kao rezultat crpljenja. Prije izvedbe zavjese i zahvata, „prirodne“ razine podzemne vode su u takovim sušnim uvjetima bile oko 10-11 m n.m. i nije bilo zaslanjenja.



Slika 2.3-3. Vodocrpilište Jezerce



Slika 2.3-4. Shematski uzdužni hidrogeološki profil kroz Bokanjačko Blato (ŽUGAJ, R. et al., 1994)

**Vodocrpilište Boljkovac** (Slika 2.3-5) je kopani zdenac dubine 5,75 m. Izgrađen je 1972. godine na istoimenom izvoru u donjem toku Miljašić jaruge. Kapacitet crpki je 100 l/s, ali se kapacitet crpilišta smanjuje na nekoliko desetaka l/s zbog utjecaja zaslanjenja. Iako se zdenac nalazi na nadmorskoj visini 3,25 m n.m. i oko 2,5 km je udaljen od mora na njemu se od početka korištenja tijekom ljetnih razdoblja

pojavljuju povišene koncentracije klorida zbog utjecaja mora, odnosno zaslanjene vode iz krškog podzemlja. Zaslanjenje se javlja i u uvjetima visokih razina podzemnih voda što se tumači ispiranjem dubljih i jače zaslanjenih krških sifona (TERZIĆ & LUKAČ REBERSKI, 2013), ali i rubnim položajem tog crpilišta u odnosu na glavninu dotoka podzemnih voda kao i niskim nadmorskim visinama terena pa se tu isklinjava slatkovodna vodna leća. Također, tijekom velikih voda dolazi do većih brzina podzemnih tokova i stvaranja turbulencije u kontaktnoj zoni slatke i slane vode te dolazi do „proširenja“ zone miješanja i na relativno plitku i tanku slatkovodnu zonu vodonosnika spomenutog izvorišta. To, također, može biti razlog povišenim koncentracijama klorida u takvim uvjetima na vodozahvatu Boljkovac.

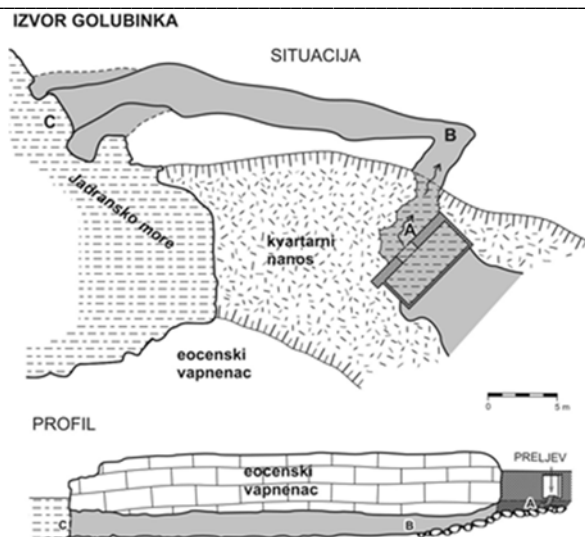


Slika 2.3-5. Vodocrpilište Boljkovac

**Priobalni izvor Golubinka** (Slike 2.3-6 i 2.3-7) kaptiran je 1993. godine, tijekom ratnih zbivanja kojima je područje Zadra ostalo bez mogućnosti korištenja svojih ranijih zahvata voda na rijeci Zrmanji. Nalazi se kod Nina, u blizini naselja Vrsi. Kapacitet izvora je preko  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , ali mu u sušnom razdoblju kapacitet relativno brzo opada te se redovito pojavljuje znatan utjecaj zaslanjenja. Tada kapacitet pada na svega  $50 \text{ l/s}$  iako su ugrađene crpke sa maksimalnim kapacitetom crpljenja od  $300 \text{ l/s}$ . Za malovodnih trajanja se prestaje s eksploatacijom jer su dotoci vode u kaptažu premali, a izvorišna zona proširena te se istjecanja podzemnih voda odvijaju na širem rubnom obalnom području tog izvorišta, ispod razina izvedenog zahvata.



Slika 2.3-6. Vodocrpilište Golubinka



Slika 2.3-7. Skica završnih sifona i kanala izvora Golubinka (prema BOŽIČEVIĆ, 1975; preuzeto iz PAVIČIĆ et al., 2006)

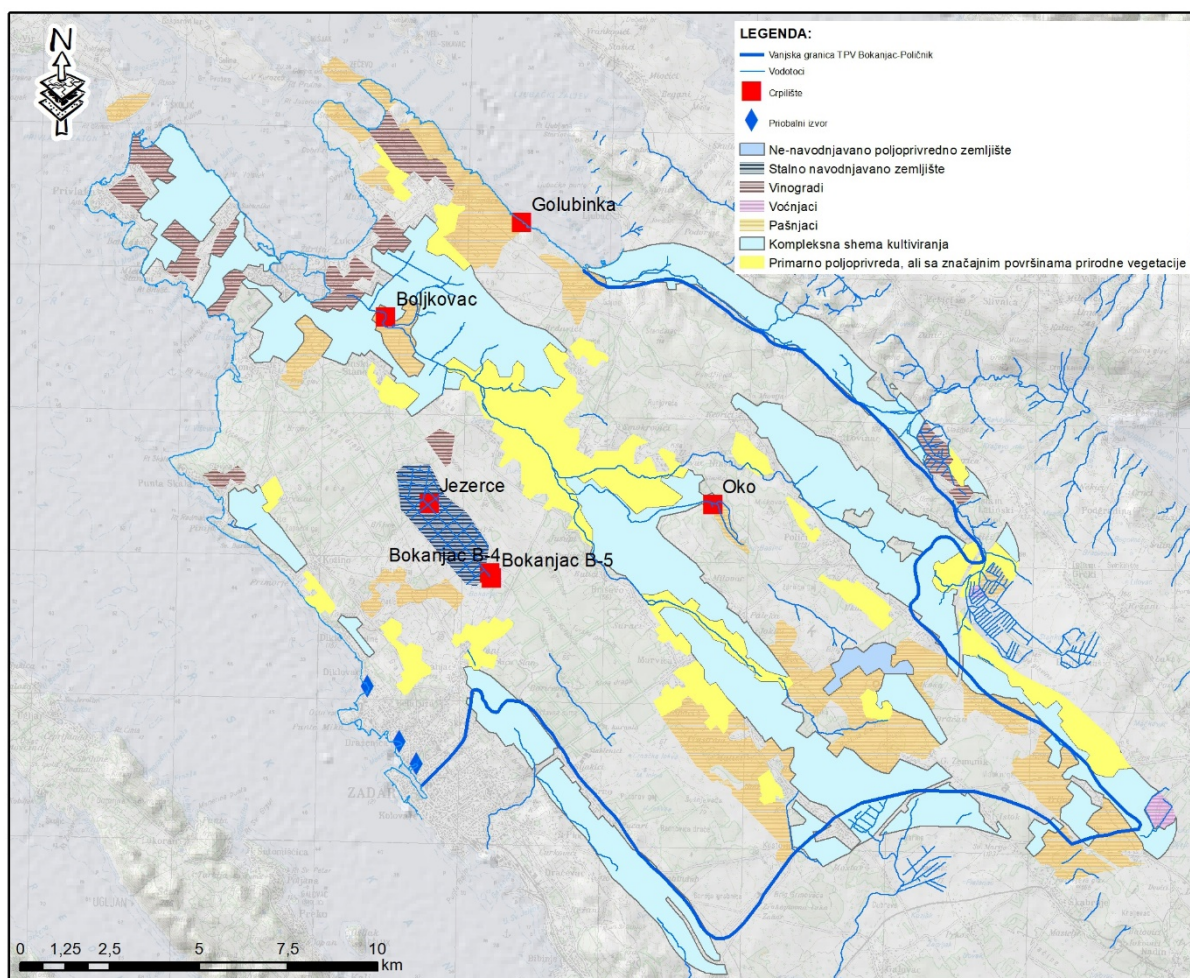
**Vodocrpilište Oko** (Slika 2.3-8) izgrađeno je 1995. godine u obliku kopanog zdenca dubine 12 m na izvoru Miljaško oko u izvorišnoj zoni Miljašić jaruge. Maksimalni kapacitet vodozahvata je 60 l/s, a u ljetnim razdobljima pada na oko 20 l/s (TERZIĆ & LUKAČ REBERSKI, 2013). Prema kazivanju predstavnika Vodovoda Zadar ovo se crpilište ne koristi dugi niz godina, vjerojatno zbog malog kapaciteta u sušnim razdobljima, a moguće i loše kakvoće voda.



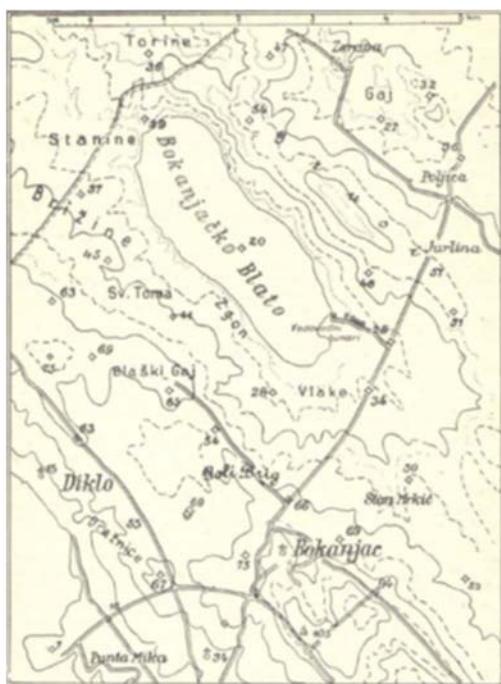
Slika 2.3-8. Vodocrpilište Oko

## 2.4. Analiza korištenja podzemnih voda za navodnjavanje u TPV Bokanjac-Poličnik

Na području TPV Bokanjac-Poličnik analiza korištenja zemljišta pomoću Corine Land Cover podloge (CLC 2012) pokazuje da je velika površina tijela podzemne vode poljoprivredno zemljište. Većinom je to nenavodnjavano poljoprivredno zemljište, pašnjaci ili poljoprivredno zemljište sa značajnim površinama prirodne vegetacije. U sjeverozapadnom dijelu razvijeno je vinogradarstvo, a jedina stalno navodnjavana poljoprivredna površina je prema podlozi CLC2012 područje Bokanjačkog blata (Slika 2.4-1).



Slika 2.4-1. Poljoprivredna zemljišta prema CLC 2012



Slika 2.4-2. Područje Bokanjčkog blata (JELAVIĆ, 1959)



Područje Bokanjačkog blata je do izgradnje odvodnog tunela prema Miljašić jaruzi 1963. godine bilo povremeno plavljeno i nepogodno za poljoprivredu (Slika 2.4-2). Nakon jakih oborina voda se prikupljala na području Bokanjačkog blata tvoreći jezero iz kojeg je voda polako ponirala u ponornoj zoni u krajnjem nizvodnom dijelu polja (FRITZ, 1976)

Nakon izgradnje odvodnog tunela i sustava kanala za navodnjavanje, na području Bokanjačkog blata počela se je intenzivno razvijati poljoprivredna proizvodnja. Do Domovinskog rata područje Ravnih kotara bilo je značajan proizvođač voća, povrća i vina u Hrvatskoj, a na tom području je djelovala tvrtka PK Zadar sa oko 2000 zaposlenih. Nakon Domovinskog rata većina je poljoprivrednog zemljišta zapuštena i neobrađena, a gasi se i tvrtka PK Zadar (ZADRA, 2013).

U zadnjih desetak godina na tom području se opet počela razvijati poljoprivredna proizvodnja. Tome doprinosi kvalitetno tlo, prisutnost podzemnih voda kao i relativno mala dubina do podzemne vode što pruža mogućnost izrade privatnih zdenaca za potrebe navodnjavanja. Obzirom da se radi o TPV koje ima problema sa zaslanjivanjem te dodatne količine crpljenja mogu znatno poremetiti labilan odnos slatke i slane vode u krškom podzemlju. Iz tog razloga je projektnim zadatkom predviđena izrada analize korištenja podzemne vode za potrebe navodnjavanja i procjena njihovih količina crpljenja prema koncesijskim naknadama.

Analiza je provedena u dvije faze:

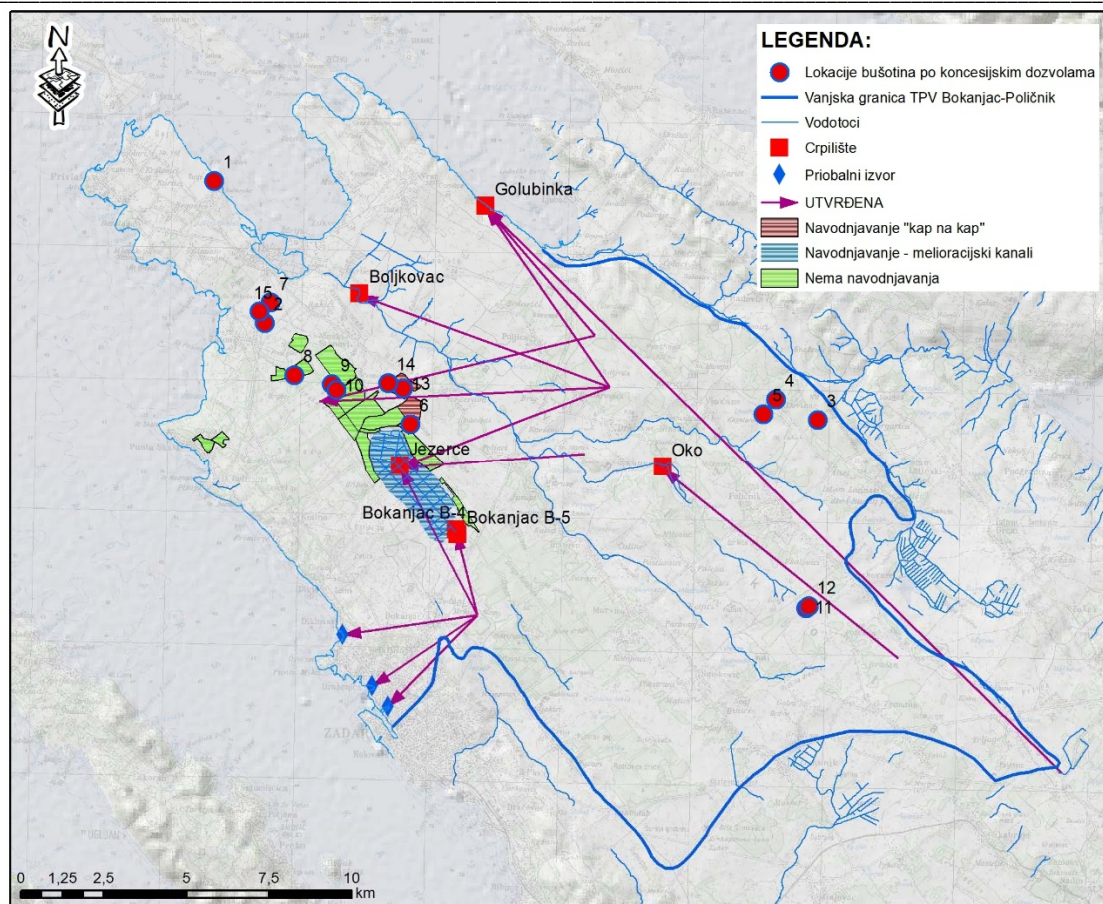
1. Analiza podataka o koncesijama za crpljenje na području TPV Bokanjac-Poličnik
2. Terenski obilazak i rekognosciranje dodatnih ozelenjenih površina tijekom ljetnih sušnih razdoblja

Koncesije za crpljenje podzemne vode za različite potrebe na području TPV Bokanjac-Poličnik izdane su za 15 lokacija i korisnika. U tablici su prikazana sva korištenja podzemnih voda na TPV Bokanjac-Poličnik osim za potrebe javne vodoopskrbe (tablica 2.4-1).

Tablica 2.4-1. Koncesijske dozvole za crpljenje podzemnih voda na TPV Bokanjac-Poličnik

R.Br.	KORIŠTENJE	NAZIV	VRSTA	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /god)	Q (l/s)	E	N
1	Navodnjavanje	Praonica automobila MAJK	Bušotina	3000	1,6	393143	4903358
2	Navodnjavanje	Danijel Peroš	Bušotina	100	1	394667	4899068
3	Navodnjavanje	Braniteljska zadruha Lovinac	Bušotina	500	0,5	411390	4896125
4	Navodnjavanje	Stjepan Strika	Bušotina	200	0,8	410124	4896749
5	Navodnjavanje	Stjepan Strika	Bušotina	1500	0,8	409750	4896304
6	Navodnjavanje	Grupa Nida d.o.o.	Bušotina MP - 1	25000	3	399071	4896000
7	Navodnjavanje	Dragan Pečnik	Bušotina	100	2	394849	4899679
8	Navodnjavanje	OPG Marinko Vukšević	Bušotina	450	0,7	395563	4897481
9	Navodnjavanje	VIGENS d.o.o.	Bušotina VG-1	80000	3,3	396838	4897034
10	Navodnjavanje	VIGENS d.o.o.	Bušotina VG-2	8000	0,46	396694	4897211
11	Navodnjavanje	MARASKA d.d.	Bušotina VL-1	1000	2	411043	4890416
12	Navodnjavanje	MARASKA d.d.	Bušotina VL-2	1000	2	411119	4890475
13	Navodnjavanje	Trešnja d.o.o.	Bušotina NS-1	6500	5,7	398846	4897084
14	Navodnjavanje	Trešnja d.o.o.	Bušotina NS-2	5500	5,7	398402	4897246
15	Tehnološka voda	PETROL d.o.o.	Bušotina	500	1	394513	4899409

Na slici 2.4-2 vidljiv je i prostorni smještaj lokacija za koje su izdane koncesijske dozvole.



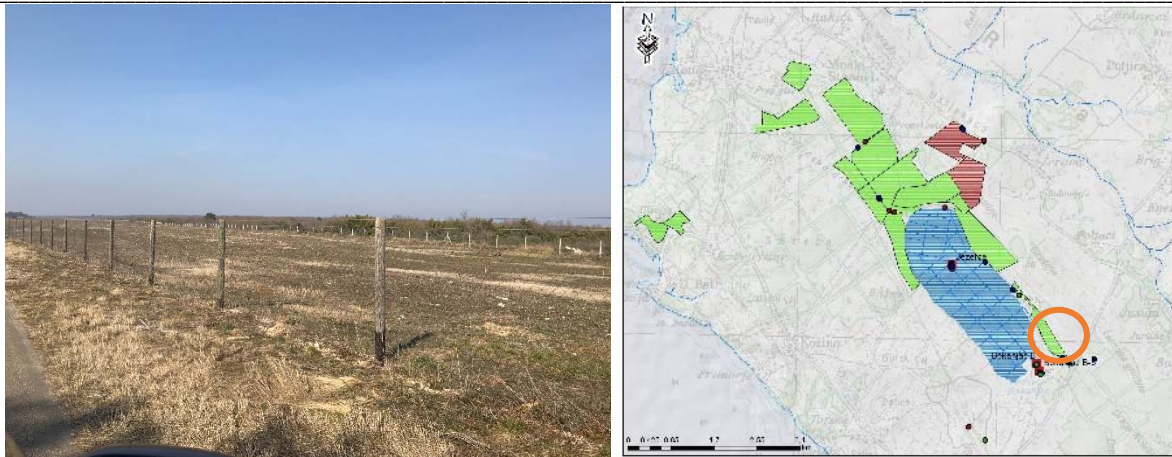
Slika 2.4-2. Lokacije bušotina za koje su izdane koncesijske naknade i poljoprivredne površine detektirane daljinskim istraživanjima satelitskih snimaka

Negativni utjecaj korištenja ovih bušotina na stanje podzemne vode je vrlo teško procijeniti jer ponekad i vrlo mala količina crpljenja može narušiti labilan odnos slatke i slane vode u podzemlju. Ipak, neke od bušotina se mogu svrstati u kategoriju koje vrlo malo utječe na opće stanje količina i kakvoće vode u TPV Bokanjac-Poličnik. To su prije svega bušotine u zaleđu i blizini izvorišta Oko (lokacije 3, 4, 5, 11 i 12) kao i bušotina 1 u Sabunikama kod Privlake. Ostale bušotine su grupirane oko Bokanjačkog blata ili neposredno nizvodno od njega gdje je i glavna koncentracija poljoprivrednog zemljišta.

Analizom dostupnih satelitskih snimaka detektirana su područja očišćena od korova i niskog raslinje i pripravljena za poljoprivrednu proizvodnju. Na samim snimcima nije bilo moguće utvrditi da li je neka od izdvojenih površina navodnjavana, odnosno koji je tip navodnjavanja korišten.

Rekognosciranje terena izvršeno je u nekoliko navrata tijekom izvođenja projekta. Sa sjeveroistočne strane Bokanjačkog blata uz glavnu prometnicu prema Zadru nalazi se ograđeno poljoprivredno zemljište na kojem su sporadično zasađene masline, ali ova površina nije navodnjavana (Slika 2.4-3).

Na području Bokanjačkog blata nizvodno od zdenaca B-4 i B-5 prema crpilištu Jezerce smještena je farma, odnosno karantena za goveda. Po površini koja je izdvojena kao stalno navodnjavana sa melioracijskim kanalima na CLC2012 podlozi goveda slobodno pasu i nema uzgoja neke poljoprivredne kulture (Slika 2.4-4).

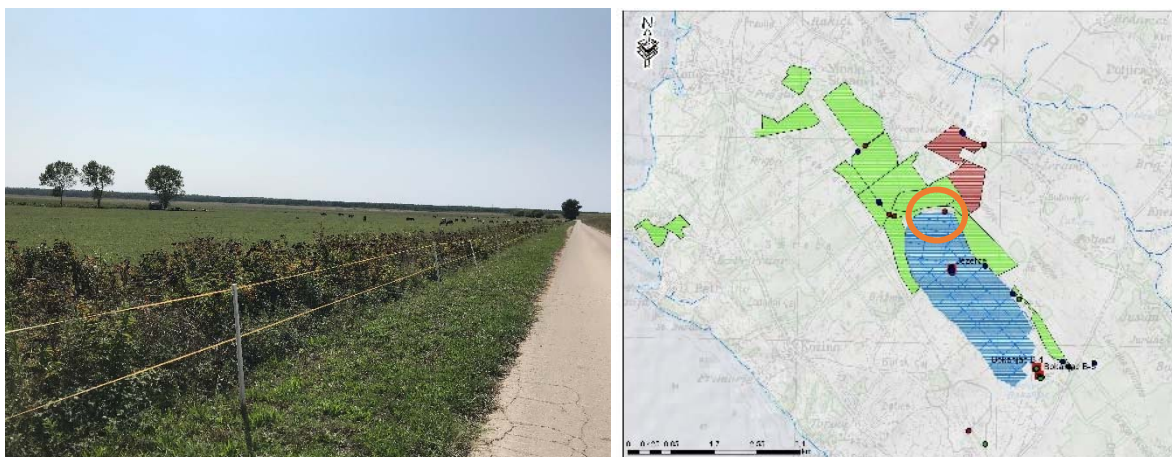


*Slika 2.4-3. Poljoprivredna površina sa sjeveroistočne strane Bokanjačkog blata*



*Slika 2.4-4. Farma goveda sa sjeveroistočne strane Bokanjačkog blata*

Slična je situacija i sa površinom nizvodno od crpilišta Jezerce na kojoj su izgrađeni melioracijski kanali (Slika 2.4-5).



*Slika 2.4-5. Farma goveda sa sjeverne strane Bokanjačkog blata*

Rekognosciranje terena utvrđeno je da na cjelokupnom području na kojem su izgrađeni melioracijski kanali nema poljoprivredne proizvodnje već se na tom području nalazi stoka u slobodnoj ispaši.

Nizvodno od Bokanjačkog blata analizom satelitskih snimaka izdvojeno je nekoliko poljoprivrednih površina, ali je rekognosciranjem terena utvrđeno da na njima nema sustava navodnjavanja.

Sustav navodnjavanja „kap na kap“ detektiran je na dvije poljoprivredne površine. Jedna se nalazi uz prometnicu prema Ninu i na toj se površini nalazi farma trešanja tvrtke Trešnja d.o.o. (Slika 2.4-6).

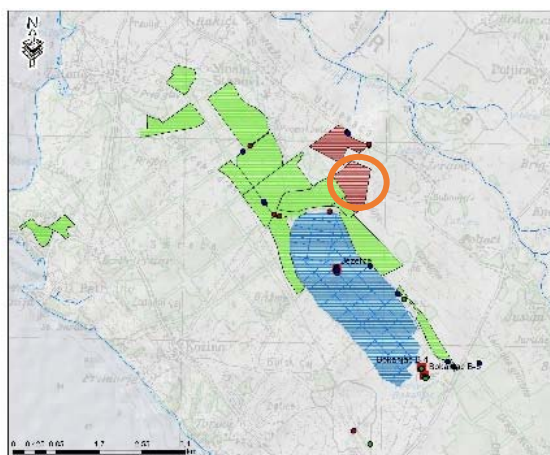


Slika 2.4-6. Farma trešanja tvrtke Trešnja d.o.o.

Na toj parceli prema koncesijskim dozvolama nalaze se dvije bušotine iz kojih se maksimalno smije crpiti po 5,7 l/s. Radi se o bušotinama NS-1 i NS-2 na k.č. 1570/1 k.o. Ninski Stanovi za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih kultura.

Druga navodnjavana poljoprivredna površina je u blizini, na k.č. 1573 k.o. Ninski Stanovi, a izvedena je za potrebe navodnjavanja maslina, smokava i marelica (Slika 2.4-7). Parcelom upravlja Grupa NIDA d.o.o., a na bušotini koja se nalazi unutar parcele dozvoljeno je maksimalno crpljenje od 3 l/s.

Na ostalim poljoprivrednim zemljištima izdvojenim iz analize satelitskih snimaka nije uočen sustav navodnjavanja, a na nekim čak nije zasađena nikakva kultura već je površina samo očišćena od korova i niskog raslinja.



Slika 2.4-7. Uzgoj maslina, smokava i marelica tvrtke NIDA d.o.o.

U tablici 2.4-1 navedene su maksimalne količine crpljenja po koncesijskim dozvolama. Može se procijeniti da su stvarne količine crpljenja manje od ovih maksimalno dozvoljenih. Na širem području Bokanjačkog blata izdvojeno je nekoliko bušotina sa koncesijskim dozvolama. Mogu se grupirati u tri skupine:

1. Bušotine 2, 7 i 15 na području između Zatona i Nina
2. Bušotine 8, 9 i 10 na području Ninskih Stanova

### 3. Bušotine 6, 13 i 14 na području Žerave

Prva skupina bušotina smještenih između Zatona i Nina ima vrlo male količine crpljenja i ne očekuje se negativan utjecaj na priobalni vodonosnik.

Skupina bušotina smještenih na području Ninskih Stanova izrađena je upravo za potrebe poljoprivrede, a ukupne količine crpljenja mogu iznositi oko 5 l/s. Najveće količine date su u koncesiju tvrtki VIGENS d.o.o. koja se nalazi u postupku stečaja. Stoga je za očekivati i znatno manje količine crpljenja od koncesijskih količina te se ne očekuje znatan negativan utjecaj na priobalni vodonosnik.

Skupina bušotina na području Žerave izvedene su za potrebe navodnjavanja uzgoja trešanja (Trešnja d.o.o.) te maslina, smokava i marelica (NIDA d.o.o.). To su najveće dozvoljene crpne količine na području TPV Bokanjac-Poličnik i ukupno čine maksimalnih 14,4 l/s. Procjenjuje se da ove količine ne bi trebale predstavljati probleme za crpilište Bokanjac pa čak niti za crpilište Jezerce.

Na cjelokupnom području TPV Bokanjac-Poličnik maksimalno dozvoljene crpne količine po koncesijskim dozvolama iznose oko 133.350 m<sup>3</sup>/god, odnosno prosječno godišnje oko 4,28 l/s, što je praktički zanemarivo u odnosu na ukupnu vodnu bilancu tog TPV, a donekle i u odnosu na ukupne količine crpljenih voda za potrebe javne vodoopskrbe. No, problem može nastupiti u slučaju kada bi se sve poljoprivredne površine počele navodnjavati. To bi zahtijevalo znatne količine vode i mogao bi se očekivati negativan utjecaj na ovaj vodonosnik u uvjetima labilne ravnoteže slatke i slane vode tijekom ljetnih sušnih razdoblja i moglo bi prouzročiti učestalija zaslanjenja ovog priobalnog vodonosnika. Uz to, vrijedi spomenuti i mogući negativni utjecaj korištenja podzemnih voda iz nelegalnih bušotina te je stoga nužno bušotine takvog tipa, ako već egzistiraju, staviti pod nadzor, kao i strogo kontrolirati i sprečavati njihovu pojavu u budućnosti.

### 3. Monitoring podzemnih voda

Prema Okvirnoj direktivi o vodama (ODV, 2000) i Vodiču br. 7 „Monitoring u skladu s Okvirnom direktivom o vodama“ (CIS 7, 2003) cilj monitoringa podzemnih voda je uspostaviti sveobuhvatan pregled stanja podzemnih voda unutar nekog slivnog područja ili tijela podzemne vode na način da omogućava kvalitetno određivanje stanja podzemnih voda prilikom izrade planova upravljanja vodnim područjima. Monitoring može biti nadzorni, operativni i istraživački. Nadzorni monitoring se provodi u svakom planskom razdoblju u obimu potrebnom da se omogući kvalitetna procjena stanja i rizika za svako tijelo podzemne vode. Operativni monitoring se provodi na tijelima podzemne vode koje su u prethodnom planskom razdoblju ocijenjene sa lošim stanjem ili rizikom. On je ograničen na procjenu specifičnih identificiranih rizika za postizanje ciljeva ODV-a. U slučaju TPV Bokanjac-Poličnik operativni monitoring je usmjeren na identifikaciju mehanizma zaslanjenja vodonosnika i veličine utjecaja tog zaslanjenja na ovaj priobalni vodonosnik.

Na području TPV Bokanjac-Poličnik **nadzorni monitoring podzemnih voda** prilikom izrade Plana upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2016-2021 (NN 66/16) nije sadržavao niti jednu točku monitoringa. Samo je izvorište Jezerce bilo uključeno u nadzorni monitoring površinskih voda kao postaja HR50320 no obzirom da se radi o zahvatu estavele, odnosno o zahvatu podzemne vode čije preljevne vode otječu površinski te se ova točka monitoringa može koristiti i za kvalitetu površinskih, ali i podzemnih voda. Također, za procjenu stanja su korišteni podaci monitoringa sirove vode na ostalim dostupnim vodnim objektima: crpilištu Jezerce, Bokanjac – zdenac 4, Boljkovac i Golubinka.

Obzirom da svako tijelo podzemne vode mora imati nekoliko točaka monitoringa kako bi se kvalitetno mogla izraditi procjena stanja i rizika u nadzorni monitoring kemijskog stanja podzemnih voda predložene su sljedeće postaje (BIONDIĆ, R. et al., 2016): Bokanjac, Izvorište Jezerce, Oko, Golubinka i Boljkovac.

Istom studijom predložena je i potrebna dinamika monitoringa, a predloženo je da se monitoring provodi minimalno četiri puta godišnje, odnosno u kvartalnim intervalima, a minimalno jedanput tijekom planskog intervala je potrebno napraviti kompletne analize sirove vode prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13) i rezultate njihovih analiza uključiti u bazu podataka kakvoće podzemnih voda. U slučaju prekoračenja MDK i/ili TV pojedinog parametra kakvoće u kompletnoj analizi potrebno ga je uključiti u nadzorni monitoring kao dodatni parametar u kvartalne intervale opažanja. Optimalni intervali opažanja su jednom mjesečno (BIONDIĆ, R. et al., 2016). Predloženi monitoring potrebno je uskladiti s novim Pravilnikom (NN 125/17).

U sklopu ove studije je iz razloga malog broja točaka nadzornog monitoringa kakvoće podzemnih voda na području TPV Bokanjac-Poličnik uspostavljen novi sustav monitoringa podzemnih voda. **Operativni Monitoring podzemnih voda na području TPV Bokanjac-Poličnik** sastoji se od organizacije nove monitoring mreže postavljanjem automatskih mjerača te prikupljanjem dostupnih podataka o količinama crpljenja i kvaliteti crpljene vode iz drugih izvora.

Kao priprema za uspostavu monitoringa izvedene su četiri nove piezometarske bušotine dubine oko 50 m ispod srednje razine mora te su u njih postavljeni automatski mjerači za mjerenje razine podzemne vode, električne vodljivosti i temperature po dubini vodonosnika na svakih 10-tak metara dubine. Automatski mjerači su postavljeni i u zdence vodocrpilišta (Bokanjac – zdenci 4 i 5, Boljkovac, Jezerce) za mjerenje razine podzemne vode, električne vodljivosti i temperature.

Provođenje monitoringa je započeto neposredno po početku projekta postavljanjem automatskih mjerača u izvedene objekte (zdenci crpilišta), a po završetku svake pojedine piezometarske bušotine

ugrađivani su automatski mjerači po dubini vodonosnika. Automatski mjerači su podešeni na način da očitavaju podatke svakih deset minuta.

Prva faza uspostave operativnog monitoringa na području TPV Bokanjac-Poličnik bila je postavljanje automatskih mjerača u zdence B-4 i B-5 na crpilištu Bokanjac, zdenac na crpilištu Jezerce i zdenac na crpilištu Boljkovac. To je postavljeno 8. prosinca 2017. godine, a automatski mjerači su programirani da izmjere razinu podzemnih voda (RPV), električnu vodljivost (CND) i temperaturu podzemne vode (T) svakih 10 minuta.



Slika 3-1. Položaj zdenaca crpilišta Bokanjac i nove piezometarske bušotine BOK-1



Slika 3-2. Položaj zdenca na crpilištu Boljkovac i nove piezometarske bušotine BOLJ-1

Druga faza postavljanja monitoringa podzemnih voda bila je nakon završetka izvođenja piezometarskih bušotina BOK-1 na crpilištu Bokanjac (Slika 3-1) i piezometarske bušotine BOLJ-1 na crpilištu Boljkovac

20. veljače 2018. godine (Slika 3-2). Zbog naknadnog završetka bušotine JEZ-1 na crpilištu Jezerce (Slika 3-3) ona je uključena u sustav monitoringa podzemnih voda 23. travnja 2018. godine.

Treća faza je bila izvođenje nove piezometarske bušotine izvan mogućeg utjecaja konusa sniženja zdenaca vodocrpilišta te je izvedena piezometarska bušotina BOK-2 (Slika 3-4) i uključena u sustav monitoringa podzemne vode 26. travnja 2019. godine.



Slika 3-3. Položaj zdenca na crpilištu Jezerce i nove piezometarske bušotine JEZ-1



Slika 3-4. Položaj nove piezometarske bušotine BOK-2

Bušotina BOK-1 (Slika 3-6) izvedena je do 85 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 20,113 m. Prilikom ugradnje automatskih mjerača, 20. veljače 2018. godine, na bušotini je izmjerena dubina do podzemne vode i iznosila je 0,85 m, odnosno u apsolutnim kotama RPV je bila 19,3 m. Po dubini izmjerena je električna vodljivost (CND) i temperatura podzemne vode (T) na svakih 5 metara. CND se



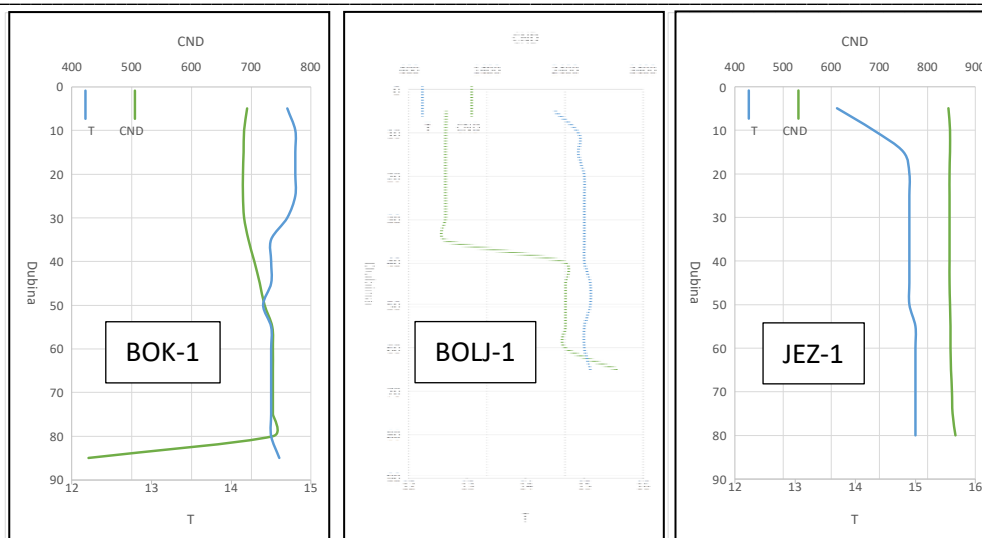
kretao u rasponu od 688  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na 10 m dubine od ušća bušotine (10,1 m n.m.) do 736  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na 80 m dubine (-60 m n.m.) (Slika 3-8).



Slika 3-6. Piezometarske bušotine BOK-1 (lijevo) i JEZ-1 (desno)



Slika 3-7. Piezometarske bušotine BOLJ-1 (lijevo) i BOK-2 (desno)

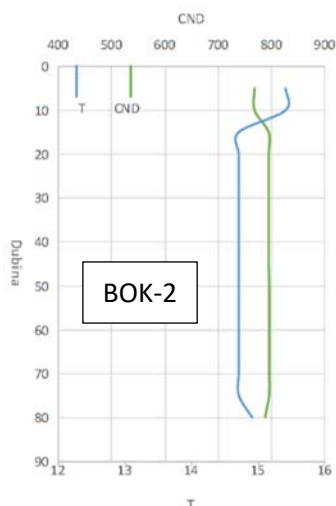


Slika 3-8. Mjerenja električne vodljivosti (CND i temperature podzemne vode (T) po dubini vodonosnika u piezometarskim bušotinama BOK-1, BOLJ-1 i JEZ-1

Bušotina JEZ-1 (Slika 3-6) izvedena je do 84,5 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 17,026 m. Piezometarska bušotina je izmjerena po dubini 20. veljače 2018. godine, ali tada nije ugrađen sustav automatskih mjerača po dubini vodonosnika. To je bilo iz razloga jer zbog vremenskih prilika nije bilo moguće izvesti betonski blok te je to izvedeno kasnije. Dubina do podzemne vode na bušotini JEZ-1 je 20. veljače 2018. godine iznosila 0,70 m, odnosno u apsolutnim kotama RPV je bila 16,3 m. Po dubini izmjerena je električna vodljivost (CND) i temperatura podzemne vode (T) na svakih 5 metara. CND je po cijelom profilu bušotine iznosio oko 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Slika 3-8), odnosno nešto povišen u odnosu na BOK-1. To se tumači time što se piezometarska bušotina JEZ-1 nalazi bliže moru i utjecaj zaslanjenja je na toj lokaciji veći nego na crpilištu Bokanjac.

Bušotina BOLJ-1 (Slika 3-7) izvedena je do 65,6 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 7,040 m. Piezometarska bušotina je izmjerena po dubini 20. veljače 2018. godine kada je i ugrađen sustav automatskih mjerača po dubini vodonosnika. Dubina do podzemne vode na bušotini BOLJ-1 je 20. veljače 2018. godine iznosila 3,83 m, odnosno u apsolutnim kotama RPV je bila 3,21 m. Po dubini izmjerena je električna vodljivost (CND) i temperatura podzemne vode (T) na svakih 5 metara. CND je do dubine 35 m iznosio oko 875  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Slika 3-8), dok je u dubljem dijelu bušotine CND bio znatno povišen i iznosio je oko 2,4 mS/cm što upućuje na zonu miješanja slatke i slane vode.

Bušotina BOK-2 (Slika 3-7) izvedena je do 86,6 m dubine, a nadmorska visina ušća bušotine iznosi 22,1 m. Piezometarska bušotina je izmjerena po dubini 26. travnja 2019. godine kada je i ugrađen sustav automatskih mjerača po dubini vodonosnika. Dubina do podzemne vode na bušotini BOK-2 je 26. travnja 2019. godine iznosila 12,4 m, odnosno u apsolutnim kotama RPV je bila 9,7 m. Po dubini je izmjerena električna vodljivost (CND) i temperatura podzemne vode (T) na svakih 5 metara. CND je bio ustaljen po cijeloj dubini bušotine i iznosio je 0,795 mS/cm, osim u najplićoj zoni vodonosnika na prvih 10 metara dubine gdje je iznosio 0,767 mS/cm. Slično ponašanje je bilo i kod rezultata mjerenja temperature gdje je najplića zona vodonosnika (do 10 m dubine) imala temperaturu od 15,4 °C, dok je ispod te pripovršinske zone temperatura do dna bušotine iznosila 14,7 °C (Slika 3-9).



Slika 3-9. Mjerenja električne vodljivosti (CND i temperature podzemne vode (T) po dubini vodonosnika u bušotini BOK-2

Sustav automatskih mjerača je postavljen na način da je po 5 mjerača ugrađeno po dubini vodonosnika pokrivajući svakih 10 metara dubine. U piezometarske bušotine BOK-1, BOK-2 i JEZ-1 ugrađeni su automatski mjerači na sljedećim dubinama: 10 m, 30 m, 40 m, 50 m i 60 m ispod srednje razine mora, dok su na bušotini BOLJ-1 automatski mjerači ugrađeni na 20 m, 30 m, 40 m, 50 m i 60 m ispod srednje razine mora. Svi automatski mjerači postavljeni su na način da svakih deset minuta izmjere vrijednosti električne vodljivosti, temperature i razine podzemne vode. Razina podzemne vode mjeri se na način da svaki automatski mjerač mjeri hidrostatski tlak, odnosno nadsloj vode iznad senzora. Također, iznad maksimalne razine podzemne vode postavlja se i barosonda koja služi za kompenzaciju atmosferskog tlaka kako bi se mogla izračunati točni nadsloj podzemne vode iznad automatskog mjerača. Obzirom da su automatski mjerači postavljeni na određene dubine vrlo lagano se dolazi do podatka o razini podzemne vode u tom vodnom objektu.

Osim podataka operativnog monitoringa podzemnih voda prikupljenih u sklopu ove studije za potrebe izrade hidrogeoloških analiza prikupljeni su i podaci od Vodovoda Zadar i DHMZ-a. Od Vodovoda Zadar su dobiveni podaci o količinama crpljenja, razinama vode u zdencima vodocrpilišta te o koncentracijama klorida i sulfata u zdencima, a od DHMZ-a su prikupljeni podaci o razinama mora kod izvorišta Golubinka te podaci o količinama oborina na postaji Zadar.

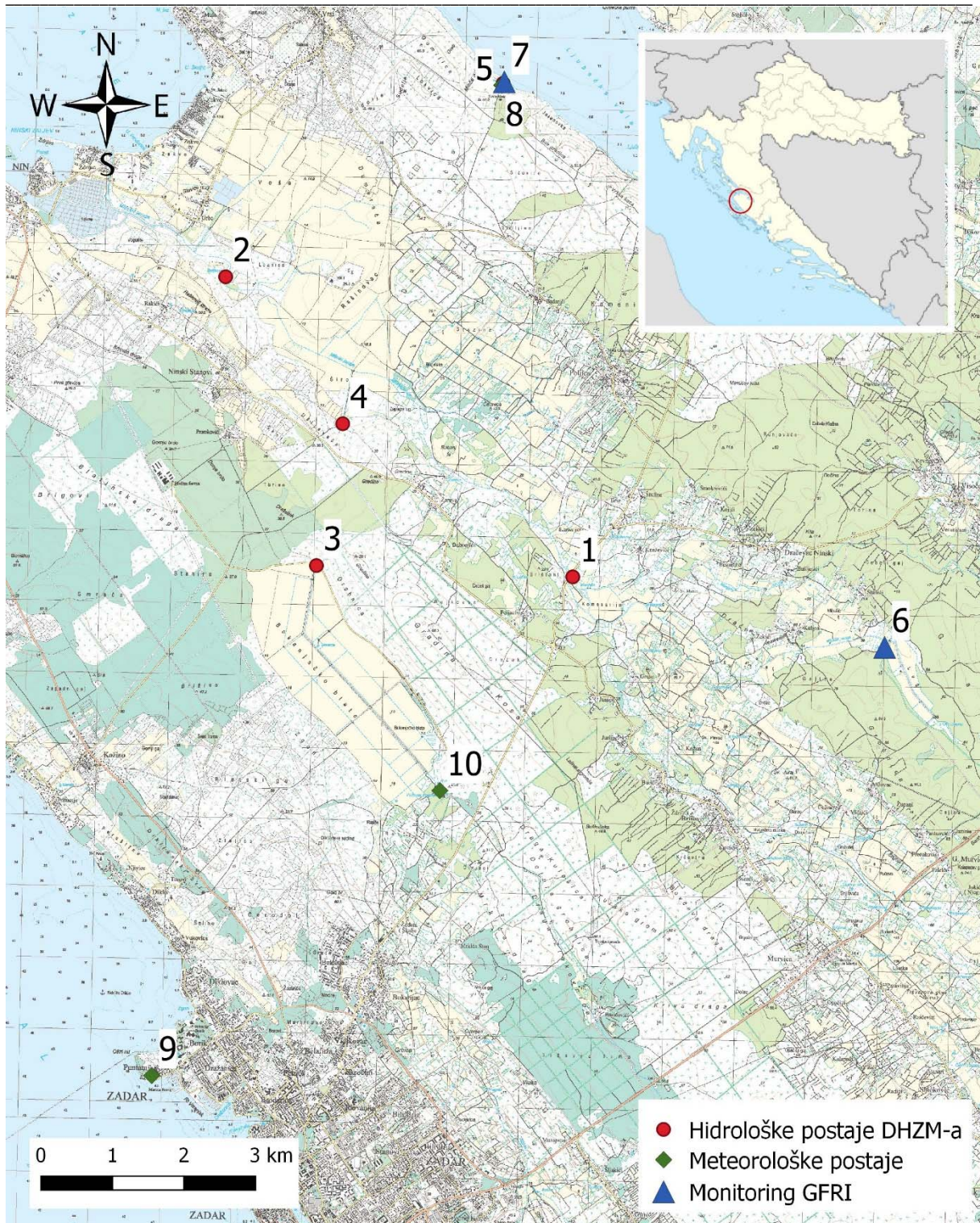
## 4. Monitoring površinskih voda

Operativni monitoring površinskih voda na TPV Bokanjac – Poličnik u cilju utvrđivanja rizika od zasljanjivanja izvorišta vodoopskrbe provoden je na način da su u sustav motrenja uz postojeće klimatološke, oborinske i hidrološke postaje DHMZ, uključene i u okviru tog monitoringa novouspostavljene postaje na lokacijama vodozahvata izvorišta Golubinka (kao dopuna hidrološkom monitoringu DHMZ-a), kao i na nekadašnjem vodozahvatu izvorišta Oko. Na širem području TPV Bokanjac - Poličnik postoji već dulje vrijeme aktivan sustavan monitoring klimatoloških i hidroloških prilika. U mreži postaja DHMZ-a aktivne su meteorološka postaja Zadar (5 m n.m.), te kišomjerne postaje Poličnik (110 m n.m.), Nin (4 m n.m.) i Ljubač (11 m n.m.). Za napomenuti je da je Građevinski fakultet Zagreb, u okviru EU projekta Amiga, uspostavio ombrografska postaju na izvorištu Bokanjac (25 m n.m.) čiji su podaci dijelom korišteni i prilikom izrade predmetnog dokumenta. Uz to, aktivne su i hidrološke postaje DHMZ-a na Miljašić jaruzi i njenoj pritoci – kanalu koji tunelom dovodi vodu iz Bokanjačkog blata u Miljašić jarugu (Slike 4-6 – 4-8), kao i na izvoru Golubinka. Osnovni podaci s tih postaja dani su u tablici 4-1, a prikaz njihova položaja na slici 4-1.

U sklopu predmetnog operativnog monitoringa, dne 17.11.2017. uspostavljeni su automatski mjeraci (CTD Diveri) za kontinuirana praćenja razina, temperatura i električne vodljivosti na izvoru Golubinka (Slike 4-2 i 4-3) i Oko (Slika 4-5). Također na izvoru Golubinka, dne 17.7.2018. uspostavljena je i automatska meteorološka postaja (Slika 4-4). Za napomenuti je da je hidrološka postaja Golubinka na početku svoga rada imala registraciju položaja zapornice na preljevu izvora prema moru, no već dulji niz godina zapornica se ne zatvara.

Tablica 4-1. Prikaz osnovnih podataka o hidrološkim postajama na području TPV Bokanjac – Poličnik

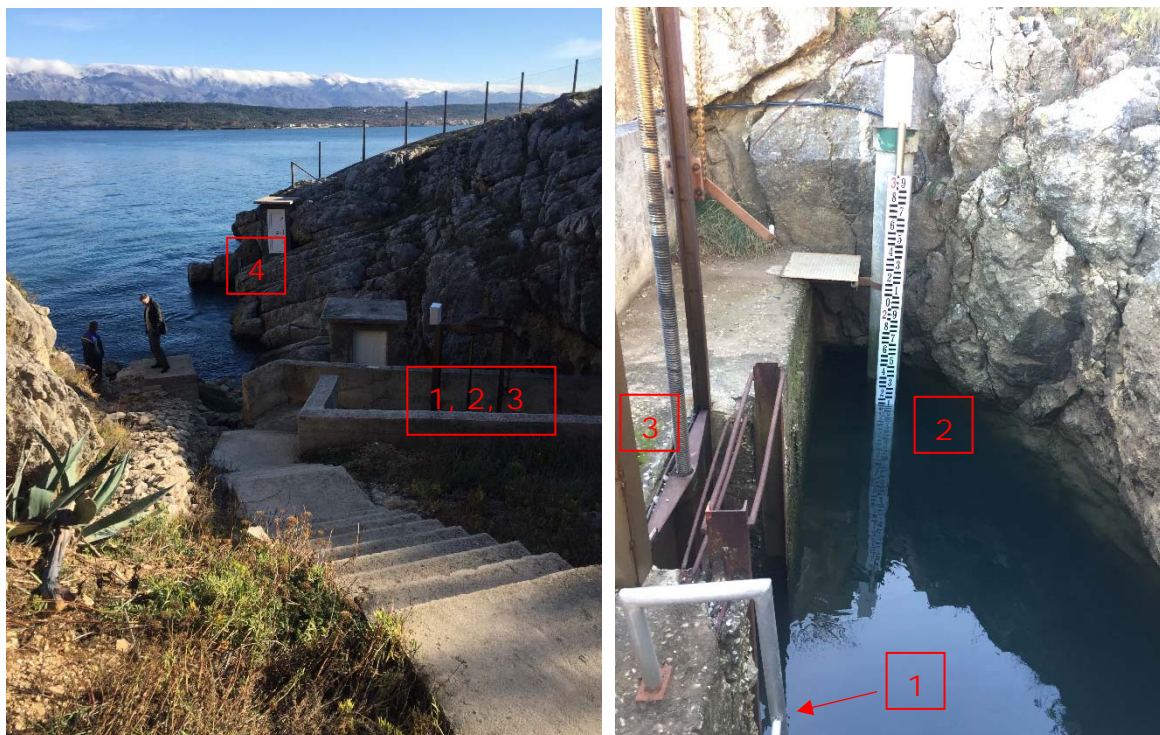
Hidrološka postaja	Kota „0“ (m n.m.)	Početak rada	Najviši vodostaj (cm)	Najniži vodostaj (cm)	Najveći protok (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Najmanji protok (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
Boljkovac – Miljašić jaruga	2,213	1.1.1996.	353	SUHO	112,6	0
Poljaki – Miljašić jaruga	25,022	1.1.1996.	367	SUHO	91,1	0
Bokanjački tunel ulaz	14,711	1.1.1996.	163	SUHO	6,12	0
Bokanjački tunel izlaz	9,161	1.1.1996.	272	SUHO	22,7	0
Golubinka izvor	1,163	1.1.1992.	346	-72	ne prate se protoci	
Golubinka zapornica	0,778	3.10.2003.	99	0	ne prate se protoci	
Golubinka more	-0,131	27.11.1994.	146	-28	ne prate se protoci	



Slika 4-1. Prikaz lokacija hidroloških postaja DHMZ-a (1 – Miljašić Jaruga – Poljaki, 2 – Miljašić jaruga – Boljkovac, 3 – Bokanjački tunel ulaz, 4 – Bokanjački tunel izlaz, 5 – Golubinka), pozicije monitoringa GFR (6 – Oko, 7 – Golubinka) i meteoroloških postaja (8 – Golubinka, 9 – Zadar, 10 – ombrografska postaju GF Zagreb)



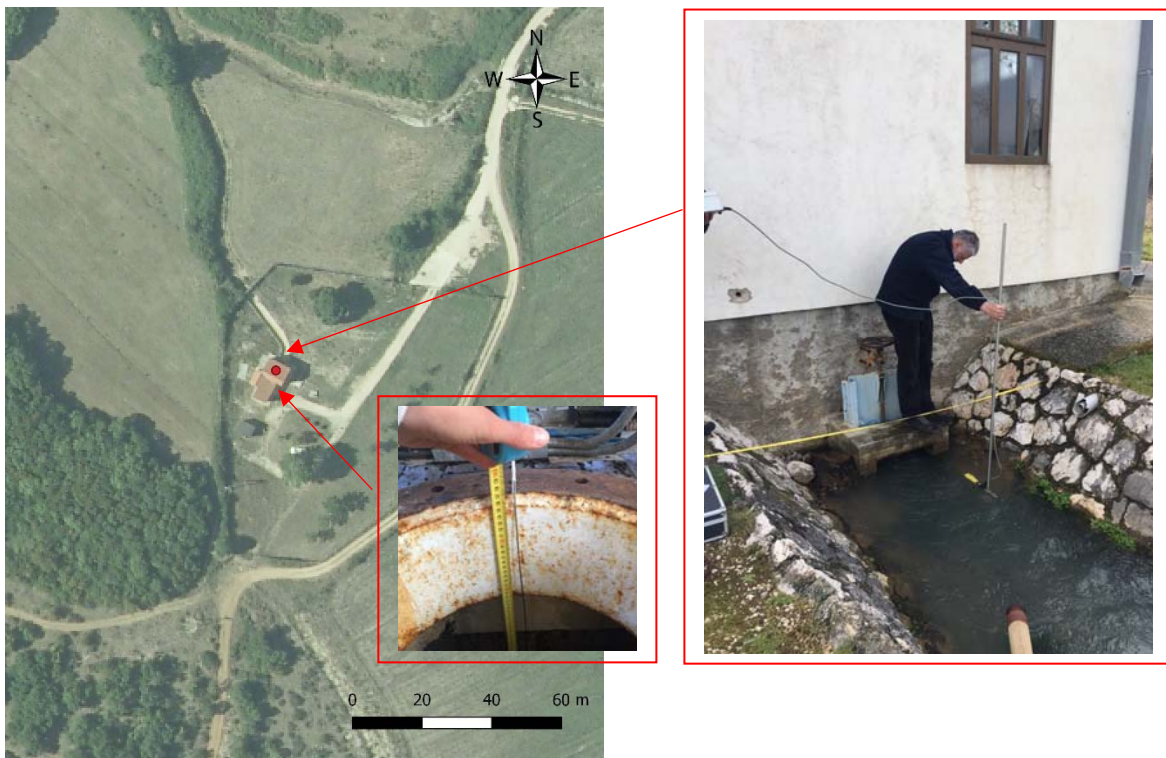
Slika 4-2. Položaj izvora Golubinka i mjernih postaja: hidrološke postaje Golubinka uspostavljene u okviru predmetnog operativnog monitoringa (1), te postaja DHMZ-a - Golubinka Izvor (2), Golubinka zapornica (3) i Golubinka more (4), meteorološka postaja (5)



Slika 4-3. Izvorište Golubinka s prikazom položaja hidroloških postaja: postaje Golubinka uspostavljene u okviru predmetnog operativnog monitoringa (1), te postaja DHMZ-a - Golubinka Izvor (2), Golubinka zapornica (3) i Golubinka more (4)



Slika 4-4. Novo uspostavljena meteorološka postaja Golubinka



Slika 4-5. Položaj vodozahvata na izvoru Oko i mjerne hidrološke postaje



*Slika 4-6. Hidrološka postaja Boljkovac – Miljašić jaruga (DHMZ)*



*Slika 4-7. Hidrološka postaja Poljaci – Miljašić jaruga (DHMZ)*





*Slika 4-8. Hidrološke postaje Bokanjac tunel – ulaz i Bokanjac tunel – izlaz (DHMZ)*

## 5. Hidrološka analiza

### 5.1. Analiza klimatoloških prilika

Klimatološke značajke na području TPV Bokanjac – Poličnik razmatrane na više razina. Pri tome su osnovne klimatološke značajke zabilježenih vremenskih nizova podataka, kako povijesnih tako i prikupljenih tijekom razdoblja operativnog monitoringa u sklopu predmetnog zadatka dane u nastavku ovoga poglavlja. Prostorna raspodjela srednjih godišnjih oborina i temperatura zraka prikazana je u poglavlju 5.4.2. vezanu uz bilancu voda, a vjerojatnosti pojave godišnjih količina oborina u poglavlju 5.3.2. Na području TPV Bokanjac - Poličnik postoji veći broj aktivnih postaja, no zbog najdužeg vremena opažanja za prikaz i analizu nizova višegodišnjih značajki mjesečnih i godišnjih podataka o temperaturama zraka i količinama palih oborina korišteni su podaci s meteorološke postaje Zadar. Pozicija postaje dana je na [slici 4-1](#).

Rezultati osnovne statističke obrade podataka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih ili godišnjih vrijednosti) o oborinama na postaji Zadar za cijelo razdoblje opažanja (1961.-2018) prikazani su u [tablici 5.1-1](#). U [tablici 5.1-2](#) dani su istovrsni rezultati osnovne statističke obrade podataka o temperaturama zraka. U obje tablice dani su i podaci posebno za 2017., 2018. i dijelom 2019. godinu tijekom kojih je vršen monitoring.

*Tablica 5.1-1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti oborina (mm) na postaji Zadar za razdoblje 1961.-2018. u usporedbi sa 2017.-9.2019.*

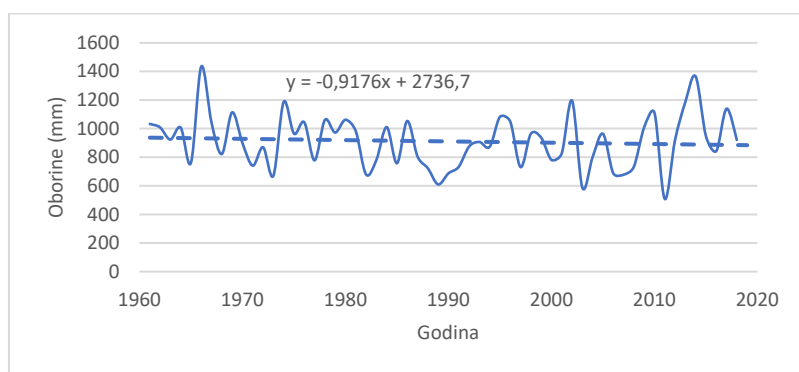
Zadar (mm)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SR	78,2	69,6	66,1	62,1	63,6	49,1	35,9	54,7	110,5	110,1	118,9	95,3	911,2
STDEV	45,6	46,4	42,8	29,6	40,8	29,5	49,7	45,2	90,3	87,4	62,7	60,5	187,0
CV	0,583	0,666	0,648	0,477	0,641	0,602	1,386	0,826	0,817	0,793	0,527	0,635	0,205
MAX	203,9	182,2	202,4	121,8	175,3	159,6	341,3	189,0	459,6	375,9	364,1	278,2	1433,9
MIN	1,3	5,6	0,2	1,4	3,7	0	0,2	0	1,2	9,5	11,7	0,3	508,8
2017	73,5	104,6	43,5	98,7	38,7	15,6	16,8	1,1	459,6	54,2	142,8	90,1	1139,2
2018	87,1	125,6	176,9	30,1	85,6	50,3	31	67,5	39,3	47,7	124	56,8	921,9
2019	94,7	13,0	41,8	80,5	176,7	5,4	76,5	16,2	118,9				

*Tablica 5.1-2. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti temperature zraka (°C) na postaji Zadar za razdoblje 1961.-2018. u usporedbi sa 1.2017.-9.2019.*

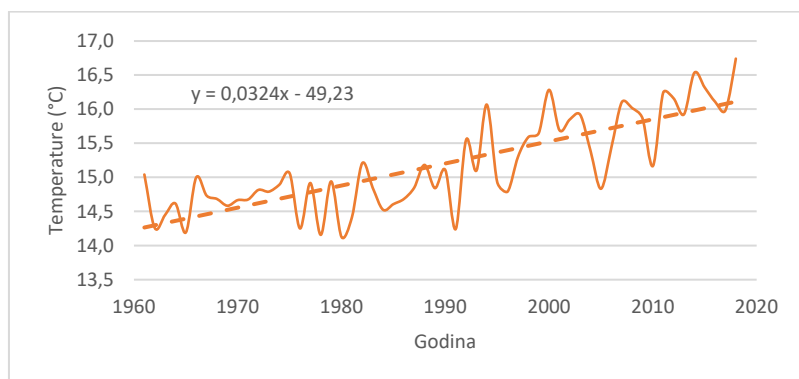
Zadar (°C)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SR	7,2	7,5	9,9	13,3	17,8	21,7	24,3	23,9	20,1	16,1	12,0	8,4	15,2
STDEV	1,6	1,8	1,5	1,1	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,4	1,3	0,7
CV	0,22	0,24	0,15	0,09	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,12	0,15	0,05
MAX	10,9	11,0	13,2	16,4	20,9	25,4	27,3	27,2	23,5	18,2	15,1	10,9	16,7
MIN	3,1	3,6	5,8	10,7	14,3	20	22,4	20	17,5	12,2	8,6	5,2	14,1
2017	4,3	9,6	12	13,9	18,8	24,2	26	26,4	19,7	16,4	11,9	8,6	16,0
2018	10,2	5,9	9,8	16,4	20,9	23,7	25,5	26,4	21,8	18,2	13,3	8,8	16,7
2019	6,3	9,9	11,8	14,5	15,8	24,6	25,6	26,2	21,7				

Iz danih je oborinskih podataka vidljivo da gledajući sumarno po hidrološkim godinama i 2017./18. i 2018./19., tijekom kojih je proveden operativni monitoring, spadaju u prosječne godine (980 mm i 852 mm). Ukoliko se promatraju temperaturne prilike tijekom 2017./18. i 2018./19. godine, te su dvije hidrološke godine bile iznadprosječne (za oko 1°C iznad prosjeka).

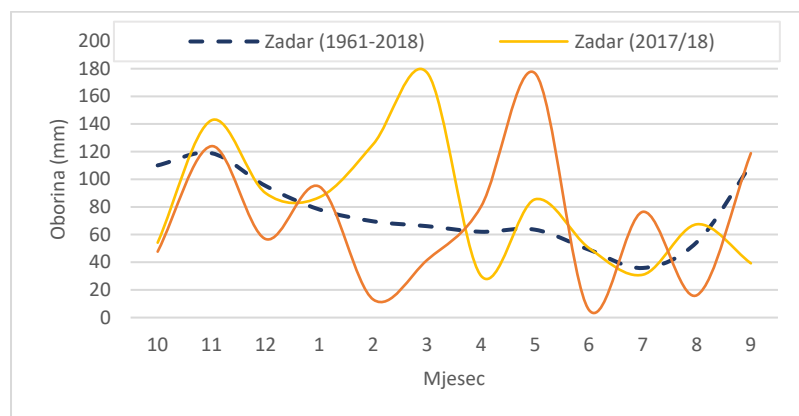
Razmotreni su i trendovi hoda godišnjih količina oborina na analiziranoj postaji Zadar (Slika 5.1-1), kao i temperature zraka (Slika 5.1-2). Vidljiv je blagi trend smanjenja godišnjih količina oborina od oko 9,2 mm/10 god, te vrlo značajan trend povećanja srednjih godišnjih temperatura zraka koji je iskazan s gradijentom od čak 0,3 °C/10 god. Na slici 5.1-3 dana je unutar godišnja raspodjela ukupnih mjesečnih oborina na postaji Zadar za razdoblje 1961.-2018. u usporedbi sa hidrološkim godinama 2017./18. i 2018./19.



Slika 5.1-1. Hod godišnjih količina oborina na postaji Zadar (1961.-2018.)

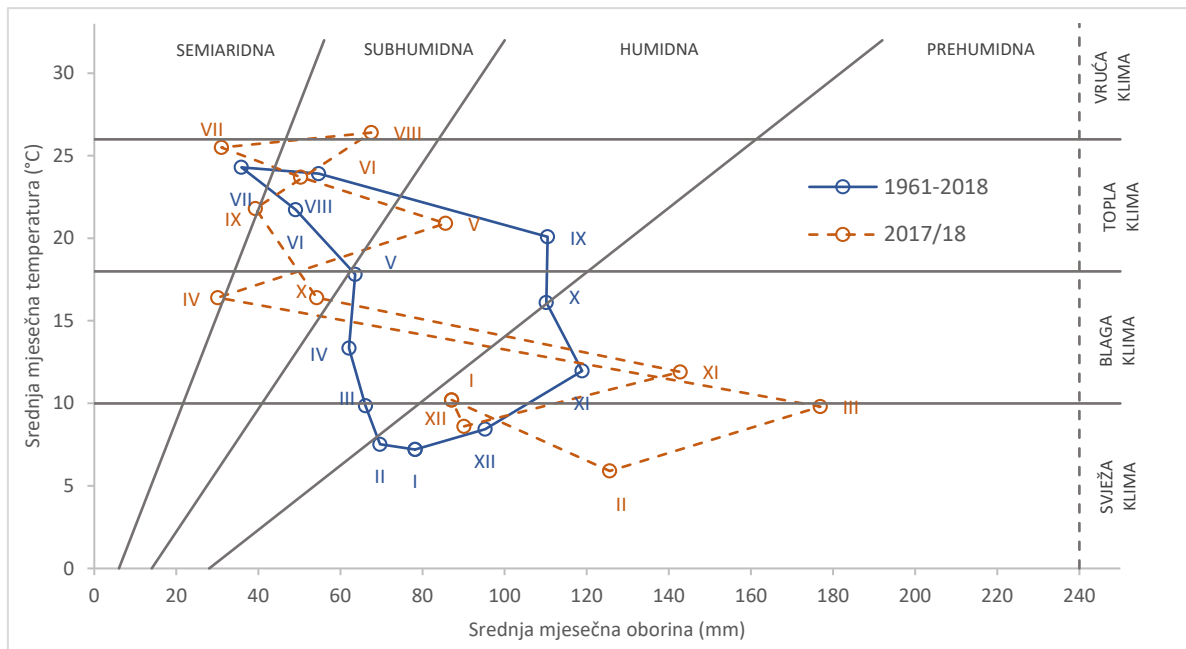


Slika 5.1-2. Hod srednjih godišnjih temperatura zraka na postaji Zadar (1961.-2018.)

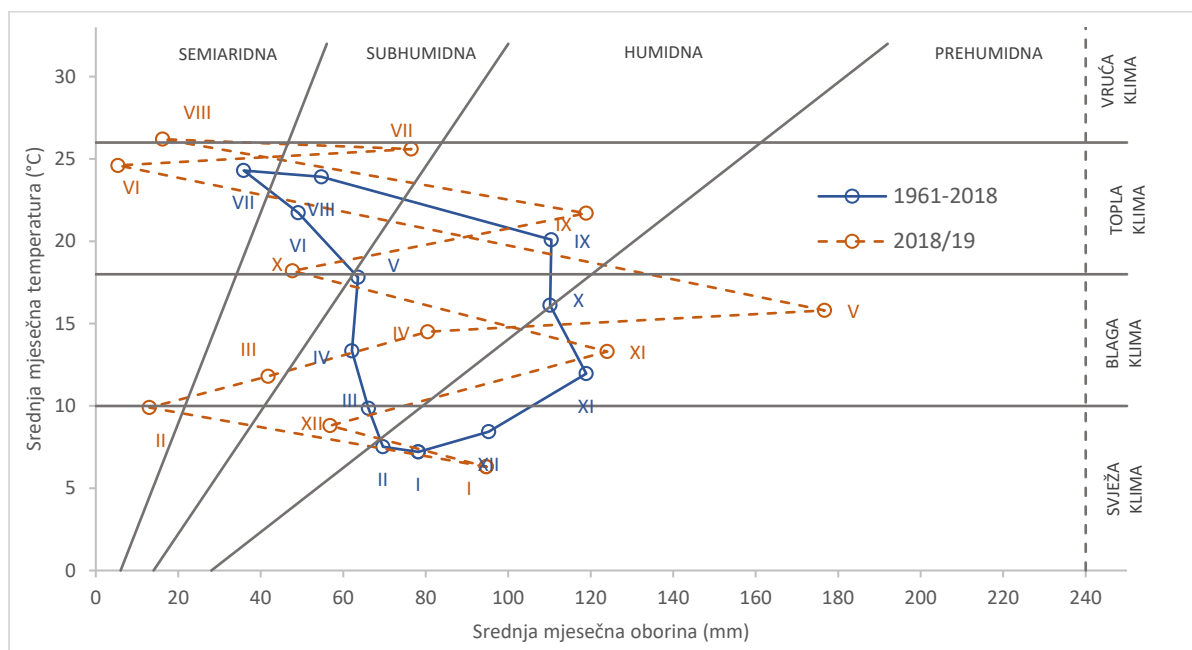


Slika 5.1-3. Unutar godišnja raspodjela ukupnih mjesečnih oborina na postaji Zadar za razdoblje 1961.-2018. u usporedbi sa hidrološkim godinama 2017/18 i 2018/19

Na slikama 5.1-4 i 5.1-5 dani su Fosterovi dijagrami za meteorološku postaju Zadar u razdoblju od 1961.-2018. u usporedbi s hidrološkim godinama 2017./18. i 2018./19. Iz grafova vidimo da obje godine vrlo naglašeno odstupaju od višegodišnjeg prosjeka, a pogotovo veljača i ožujak za 2017./18. koji su bili iznimno vodniji od uobičajenih prilika, te veljača i lipanj u 2018./19. godini koji su bili iznimno sušniji i topliji od prosjeka, te svibanj 2018./19. koji je bio iznimno vodniji od prosječnih prilika u tom mjesecu.



Slika 5.1-4. Fosterov dijagram za meteorološku postaju Zadar u razdoblju od 1961.-2018. u usporedbi sa hidrološkom godinom 2017./18.



Slika 5.1-5. Fosterov dijagram za meteorološku postaju Zadar u razdoblju od 1961.-2018. u usporedbi sa hidrološkom godinom 2018./19.

U sklopu predmetnog projekta operativnog monitoringa, dana 17.7.2018., uspostavljena je nova automatska meteorološka postaja (*Davis Vantage Pro2*) na izvoru Golubinka s praćenjima niza meteoroloških parametara (slika 4-4). U tablica 5.1-3 i 5.1-4 dan je pregled osmotrenih dnevnih i mjesečnih vrijednosti oborinama sa meteorološke postaje Golubinka u razdoblju od 17.7.2018. do 23.10.2019. Zbog prestanka rada crpne postaje te isključivanja struje, postaja nije bilježila podatke u razdoblju od 4.1.2019. do 13.3.2019., ali su isti, na temelju usporedbe tijekom zajedničkog razdoblja motrenja, nadomješteni podacima s postajama DHMZ-a na širem utjecajnom prostoru, kao i podacima s automatske postaje Bokanjac, uspostavljene od strane Građevinskog fakulteta u Zagrebu u okviru EU projekta Amiga.

Tablica 5.1-3. Podaci o dnevnim oborinama sa meteorološke postaje Golubinka u razdoblju od 17.7.2018. do 23.10.2019. (s prekidom 4.1.2019.-13.3.2019.)

Mjesec/ dan	2018						2019									
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	/		17,6	9,2	14			/	/		0,4					
2	/		4,2	1,2	42,6	0,4		/	/					23,2		49,4
3	/					6		/	/						1,6	1,2
4	/		1			5,8	/	/	/		29,4					
5	/						/	/	/	30	14,8					
6	/				0,2	2,2	/	/	/						6,4	
7	/			43,4		0,2	/	/	/	22,4			5,2			
8	/					15,6	/	/	/	3					36,6	
9	/					10,2	/	/	/	0,6	3,4		4,4		0,6	
10	/					0,2	/	/	/	7,2			7,8			
11	/						/	/	/	9,4						
12	/					0,2	/	/	/		28,6					
13	/					4	/	/	/		0,4		3,6			
14	/	12,2				6,2	/	/			1			1,2		0,2
15	/			0,2			/	/								0,4
16	/			0,2			/	/								
17						0,8	/	/							0,2	0,2
18		0,4				0,2	/	/	22,4		1,2					0,2
19		3,6			3		/	/	13,4		1,2				3,8	0,2
20					5	13,8	/	/			0,6					
21					3,2	0,4	/	/								
22					0,2		/	/			0,2	0,6			0,2	0,2
23							/	/		0,6	0,2	0,2			21	0,4
24			11		1	3,4	/	/							0,4	
25					22,4		/	/							6,4	/
26		29,4			20		/	/		2,8	4,2				22,8	/
27	0,8						/	/		0,2	2,4		8,4		0,2	/
28				18,6			/	/		7	4,6		23,6			/
29				14,6			/			9,8	31		4,4			/
30							/			0,2	12,4					/
31																/
Ukupne		45,6	33,8	87,4	111,6	69,6				93,2	136	0,8	57,4	24,4	100,2	
MAX		29,4	17,6	43,4	42,6	15,6				30	31	0,6	23,6	23,2	36,6	

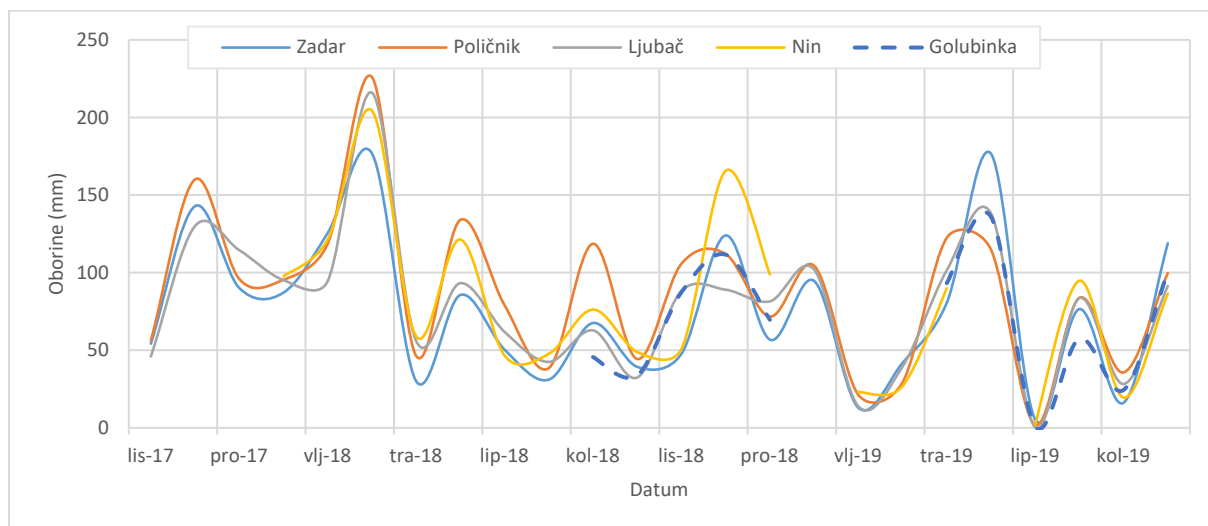
Tablica 5.1-4. Podaci o srednjim dnevnim temperaturama zraka sa meteorološke postaje Golubinka u razdoblju od 17.7.2018. do 23.10.2019. (s prekidom 4.1.2019.-13.3.2019.)

Mjesec /dan	2018						2019									
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	/	29,3	21,7	14,8	16,8	9,3	5,8	/	/	14,3	14,4	19,6	25,8	25,9	25,6	19,7
2	/	28,2	21,7	16,2	17,2	10,2	4,7	/	/	13,9	14,7	21,1	27	24,5	25,2	18,4
3	/	28,3	20,3	13,7	16,7	11,1	5,7	/	/	14,9	16,7	21,7	28,8	24,1	23,1	15,3
4	/	28,4	20,7	15,8	16,3	11,1	/	/	/	15,8	14,2	21,1	27,8	23,6	23,4	15,7
5	/	27,1	21,7	16,3	17,6	9,8	/	/	/	12	12,8	21,6	25,4	22,8	21,7	14,8
6	/	27,3	20,8	19,7	17,1	5,4	/	/	/	11,2	11,9	22,3	26,6	24,7	22,5	14,6
7	/	27,3	21,2	18,2	15,7	6,5	/	/	/	11,4	12,5	21,7	27,5	26,8	21,6	15,8
8	/	26,9	22,1	17,7	14,1	8,7	/	/	/	13,1	13,1	24,6	25,1	26,2	22,2	13
9	/	26,9	21,3	17,8	11,8	5,9	/	/	/	15,5	12,7	24	23,8	25,4	18,2	15,6
10	/	27,1	21	16,3	11,4	6,8	/	/	/	12,1	13,7	24,8	21,9	26,4	18,8	18,6
11	/	27,3	21,3	15,5	13,6	3	/	/	/	12,3	15,7	26,5	22,1	27,3	20	14,9
12	/	26,4	21,4	14,8	13,2	2,9	/	/	/	11,5	14,2	27,4	22,9	27,6	21,2	14,5
13	/	25,8	21,1	15,2	12,6	4,8	/	/	/	11,1	14,3	23,8	21,9	27,9	21	15
14	/	22,7	21,3	15,9	11,2	5,3	/	/	8,2	11,7	12,6	24,1	24,1	24,8	21,5	15
15	/	24,6	21,4	16,4	11,1	5,2	/	/	9,8	14,2	12,5	24,9	22,7	23,1	20,4	16,2
16	/	26,8	21,6	17,3	11,6	1,9	/	/	12,7	11,3	13,2	26,2	23,3	22,5	19,8	17,2
17	25,8	25,3	21	16,8	10,6	5,5	/	/	12,9	13,1	14,5	26,1	22,8	22,1	20,2	13,7
18	24,8	23,6	21,1	16,9	7,6	5,9	/	/	13	14,2	16,2	24,7	23,6	23,6	20,5	14,1
19	25,4	23,2	21,5	16,8	5,7	2,5	/	/	10,4	14,8	16,3	24	24,5	25	19,6	15,7
20	25,1	25,2	22,5	15,8	11	7,4	/	/	10,1	14,5	16,6	24,4	24,2	24,9	17,4	18,6
21	26,2	26,8	22,3	13,9	10,7	7	/	/	10,1	14,3	16,1	25,2	25,2	25,7	14	17,5
22	25,2	26,4	22,5	15,8	10	10,4	/	/	9,8	16,5	17,4	24,4	28	27,1	16,7	15,5
23	23,9	25,1	22,8	16,6	10,2	11,1	/	/	11,9	16,4	16,8	24,3	27,6	26,9	19,3	15,6
24	27	24,2	19,3	12,8	13,9	11,2	/	/	10,8	18,6	18,4	25,9	27,8	25,2	19,8	/
25	26,8	25	16,2	12,4	13,4	6,2	/	/	11,5	19	18,4	28,4	27,3	24,4	17,3	/
26	27,3	21,1	14,4	16,9	11,2	5,4	/	/	10,8	19,2	18,3	29	28,5	25,4	16,9	/
27	24,4	21,9	13,1	19,6	9,7	3,2	/	/	11,9	14,3	17,2	28,2	27,4	25,1	17,1	/
28	25,1	21,6	16,1	19,4	8,7	4,1	/	/	12,9	14,3	18,5	28,3	22,8	25,9	19,6	/
29	26,4	20,9	18,7	19,5	3,4	4,8	/	/	12,6	13,7	16,2	27	24,1	25,6	19,6	/
30	28,2	21,5	13,6	16,4	3,7	7,3	/	/	10,2	14,7	16,4	24,6	25,5	26,4	20,7	/
31	28,6	23,1		14,6		8,1	/	/	10,3		17,3		26,2	26,2		/
SR		25,3	20,2	16,3	11,9	6,7				14,1	15,3	24,7	25,2	25,3	20,2	
MAX		29,3	22,8	19,7	17,6	11,2				19,2	18,5	29	28,8	27,9	25,6	
MIN		20,9	13,1	12,4	3,4	1,9				11,1	11,9	19,6	21,9	22,1	14	

U **tablici 5.1-5** dan je pregled mjesečnih količina oborina na postajama Zadar, Poličnik, Ljubač, Nin i Golubinka tijekom hidroloških godina 2017./18. i 2018./19. Na **slici 5.1-6** dan je prikaz ukupnih mjesečnih oborina na postajama Zadar, Poličnik, Ljubač i Nin u usporedbi sa novouspostavljenom meteorološkom postajom Golubinka tijekom razdoblja monitoringa od listopada 2017. do rujna 2019. Iz danog prikaza se može vidjeti da sve postaje, uključujući i Golubinku, imaju vrlo sličan hod srednjih mjesečnih oborina, pri čemu, zbog svog položaja i visinskog gradijenta porasta oborina, Poličnik ima najveće količine oborina.

Tablica 5.1-5. Usporedni prikaz zabilježenih mjesečnih količina oborina na postajama s šireg područja TPV Zadar Poličnik tijekom hidroloških 2017./18. i 2018.-2019.

Hidrološke godine	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Uk
2017./18.													
Zadar	54,2	142,8	90,1	87,1	125,6	176,9	30,1	85,6	50,3	31	67,5	39,3	980,5
Poličnik	56,3	160,1	95,9	95,4	118,7	226	46,4	134	78,9	38,4	118,6	44,3	1213,0
Ljubač	46	130,1	114,5	95,2	94,6	216	56	93,2	61,8	42,5	62,8	32,4	1045,1
Nin	58,4			97,7	121,4	204,4	59	121,4	46,5	47,6	76,2	48,9	881,5
Golubinka											45,6	33,8	
2018./19.													
Zadar	47,7	124	56,8	94,7	13	41,8	80,5	176,7	5,4	76,5	16,2	118,9	852,2
Poličnik	105,8	112	71,7	104,5	21,3	29,3	122,4	114,9	1,9	83,7	35,7	99,7	803,3
Ljubač	88,2	89	81,5	102	13,9	39,5	101,5	138,2	0,3	83,5	28,2	91,4	765,8
Nin	50,9	165,7	98,9		23	26,9	89,9		2	94,8	19,5	86,4	
Golubinka	87,4	111,6	69,6				93,2	136	0,8	57,4	24,4	100,2	



Slika 5.1-6. Prikaz ukupnih mjesečnih oborina na postajama Zadar, Poličnik, Ljubač i Nin u usporedbi sa novouspostavljenom meteorološkom postajom Golubinka tijekom razdoblja monitoringa (10.2017. – 9.2019.)

## 5.2. Analiza podataka monitoringa hidroloških prilika

### 5.2.1. Operativni hidrološki monitoring istjecanja podzemnih voda

Operativni hidrološki monitoring istjecanja podzemnih voda na području TPV Bokanjac – Poličnik uspostavljen je u okviru predmetnog projekta kao dopuna osnovnom hidrološkom monitoringu koga kontinuirano od 1996. g. provodi DHMZ. Provođenje monitoringa započelo je neposredno po početku projekta, dana 17.11.2017. godine, postavljanjem automatskih mjerača (CTD Diveri) za kontinuirana praćenja razina, temperatura i električne vodljivosti vode na lokalitetima izvora Oko i Golubinka (Slika 5.2-1). Automatski mjerači su podešeni na način da očitavaju podatke svakih deset minuta. U razdoblju od 24.10.2018. do 14.11.2018. razina vode na izvoru Oko spustila se ispod početne točke mjerenja razine automatskog mjerača te u tom razdoblju nema zabilježenih podataka. Za napomenuti je da je uspostavljeni operativni monitoring na izvoru Golubinka bio dopuna postojećem monitoringu koga provodi DHMZ u smislu praćenja dinamike promjene sadržaja električne vodljivosti i temperature vode na izvoru.



Slika 5.2-1. Pozicije automatskih mjerača na lokacijama izvora Golubinka (lijevo) i Oko (desno)

U tablici 5.2-1 dan je pregled mjesečne vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode na lokacijama Golubinka i Oko u razdoblju od 17.11.2017. do 22.10.2019. Također dani su i rezultati osnovne statističke obrade podataka za cjelokupno spomenuto razdoblje operativnog monitoringa, te posebno iskazano i za hidrološke godine 2017./18. i 2018./19. Potrebno je napomenuti da hidrološka godina 2017./18. nije u cijelosti obrađena od početka 10. mjeseca zbog uspostave monitoringa tek od sredine studenog. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode, temperature i električne vodljivosti na lokalitetu izvora Golubinka i Oko možemo vidjeti na slikama 5.2-2 i 5.2-3. Podaci o razinama vode na izvoru Oko prikazani u relativnim, osmotrenim vrijednostima zabilježenim na spomenutim automatskim mjeračima, dok su na izvoru Golubinka podaci preračunati na razine letve.



Tablica 5.2-1. Mjesečne vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode na lokacijama Golubinka i Oko u razdoblju od 17.11.2017. do 22.10.2019.

Godina	Mjesec	GOLUBINKA			OKO		
		Razine vode (cm)	Temperatura (°C)	Električna vodljivost (mS/cm)	Razine vode (cm)	Temperatura (°C)	Električna vodljivost (mS/cm)
2017	11*	94	14,9	0,776	603	15,0	0,790
	12	196	14,7	0,802	605	14,8	0,750
2018	1	176	14,5	0,789	606	14,8	0,759
	2	169	14,5	0,786	607	14,7	0,749
	3	234	14,6	0,790	612	14,1	0,700
	4	120	14,6	0,758	615	14,6	0,741
	5	62	14,8	0,747	618	14,8	0,765
	6	8	15,1	1,10	615	14,9	0,769
	7	-8	15,2	1,90	601	15,0	0,802
	8	-12	15,3	3,85	584	15,1	0,833
	9	-18	15,3	4,04	523	15,2	0,864
	10	-18	15,4	6,98	341	15,2	0,913
	11	-1	15,2	7,79	226	15,1	0,846
	12	44	15,0	1,80	524	15,2	0,808
2019	1	63	14,7	1,68	585	15,1	0,811
	2	85	14,4	0,865	597	15,0	0,816
	3	10	14,6	1,399	592	15,0	0,839
	4	58	14,7	1,11	594	15,0	0,854
	5	52	14,8	1,08	601	14,9	0,876
	6	11	14,9	1,51	595	15,0	0,875
	7	-2	15,3	4,95	547	15,1	0,863
	8	-14	15,9	8,41	347	15,2	0,910
	9	-27	16,0	9,68	161	15,2	0,907
	10*	-17	15,6		143	15,2	0,991

**Cjelokupno razdoblje opažanja**

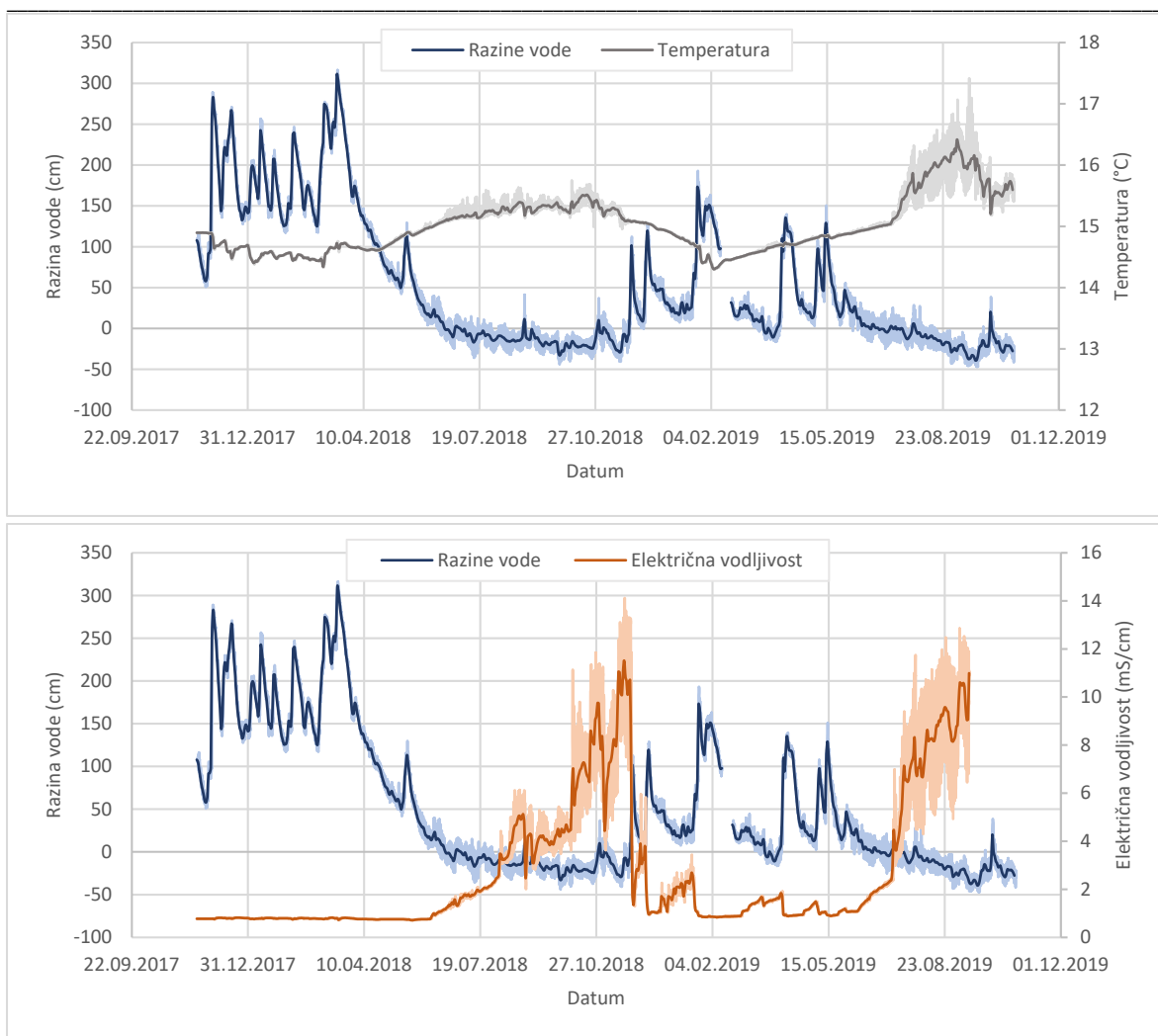
SR	53	15,0	2,76	519	15,0	0,826
Max	234	16,0	9,68	618	15,2	0,991
Min	-27	14,4	0,747	143	14,1	0,700
MAX	316	17,4	14,1	631	15,4	1,03
MIN	-47	14,3	0,712	124	13,2	0,476

**Hidrološka godina 2017./2018.**

SR	93	14,9	1,49	599	14,8	0,775
Max	234	15,3	4,04	618	15,2	0,864
Min	-18	14,5	0,747	523	14,1	0,700
MAX	316	15,6	6,13	631	15,2	0,886
MIN	-44	14,3	0,712	421	13,2	0,476

**Hidrološka godina 2018./2019.**

SR	19	15,1	3,94	450	15,1	0,870
Max	85	16,0	9,68	601	15,2	0,991
Min	-27	14,4	0,865	143	14,9	0,808
MAX	193	17,4	14,1	604	15,4	1,03
MIN	-47	14,3	0,835	124	14,9	0,724

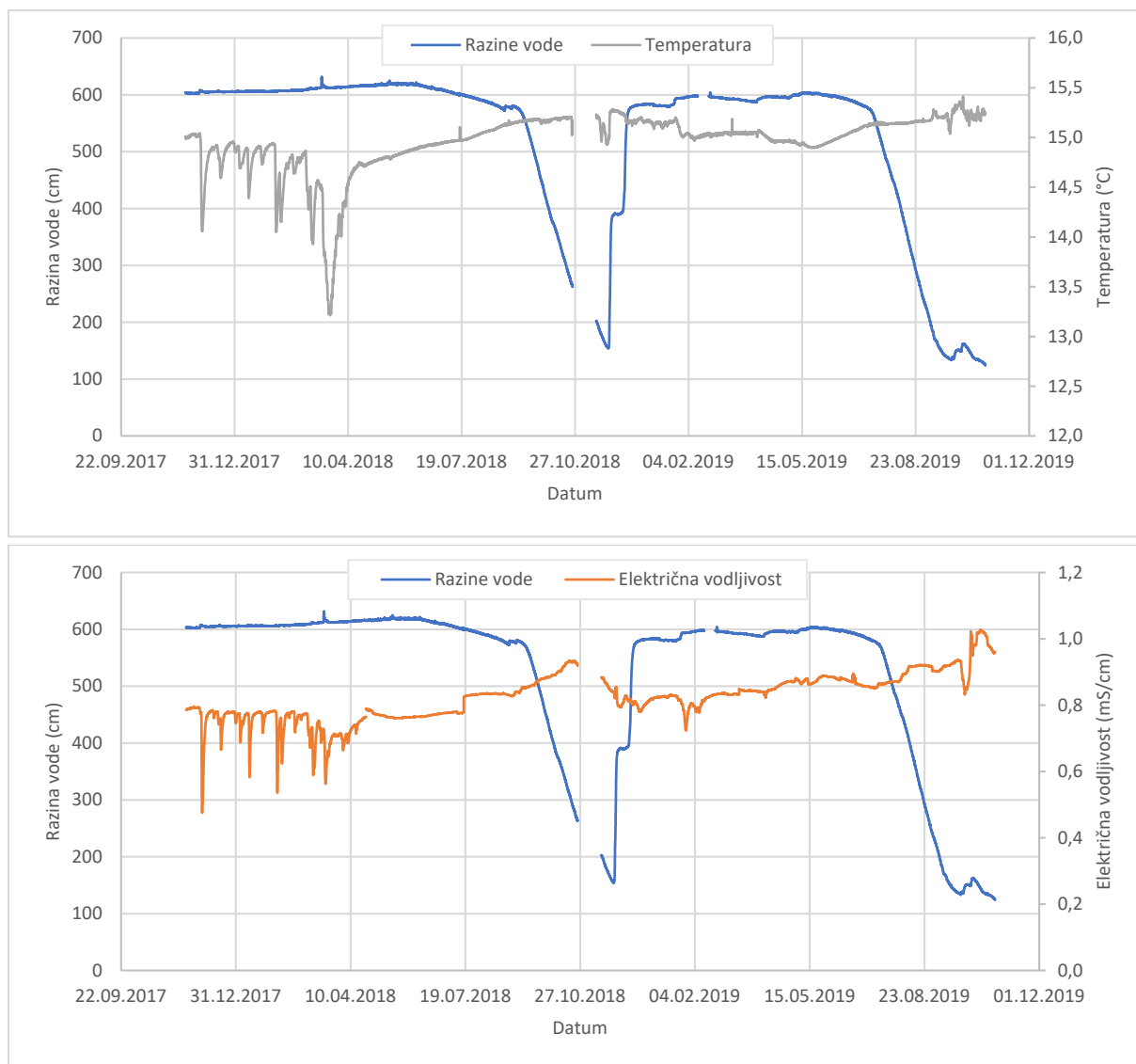


Slika 5.2-2. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne provodljivosti vode na izvoru Golubinka u razdoblju 17.11.2017. – 23.10.2019.

Iz tablice i grafova vidimo da je hidrološka godina 2017./18. vodnija nego 2018./19. Srednja razina vode na izvoru Golubinka iznosila je 93 cm za 2017./18. godinu, dok je za 2018./19. svega 19 cm. Tijekom cijelog razdoblja opažanja, razina vode se kretala u rasponu između -47 i 316 cm.

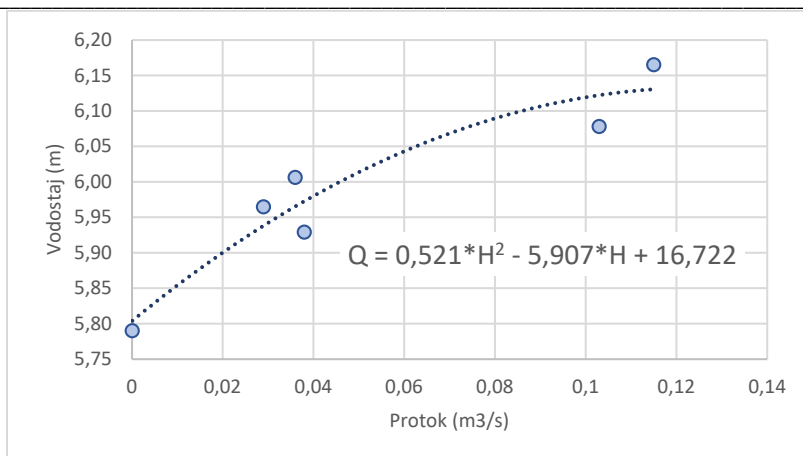
Povoljnije/vodnije hidrološke prilike u 2017./18. rezultirale su i manjom električnom vodljivošću vode na izvoru Golubinka od 1,49 mS/cm (maksimalna 6,13 mS/cm) u odnosu na hidrološku godinu 2018./19. kad je srednja električna vodljivost iznosila 3,94 mS/cm (maksimalna 14,1 mS/cm). Za cijelo razdoblje opažanja, električna vodljivost kretala se u vrlo velikom rasponu između 0,712 i 14,1 mS/cm, a temperatura vode između 14,3 i 17,4°C.

Na izvoru Oko vidljive su puno manje dnevne varijacije razine vode tijekom promatranog razdoblja dok je preliv na izvoru aktivan. No, tijekom ljetnih mjeseci preliv presuši, a razina vode se spusti i za cca 6 metara. Krajem srpnja 2018. godine razina vode se počela spuštati, te je minimalnu vrijednost od 155 cm dosegla 24.11.2018. Vrlo slična situacija je bila i tijekom 2019. godine kada se razina vode počela spuštati početkom srpnja i minimalna vrijednost od 124 cm zabilježena je 23.10.2019. No, tog dana je prekinut monitoring te vrlo moguće da je razina i dalje opadala. Električna vodljivost je uglavnom konstantna i iznosi 0,826 mS/cm (minimalna i maksimalna su 0,476 mS/cm i 1,03 mS/cm). Vidimo da je i da je temperatura vode na oba izvora vrlo ujednačena, te je razlika između ljetnog i zimskog perioda maksimalno 2°C na izvoru Oko i 3°C na izvoru Golubinka.



Slika 5.2-3. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode na izvoru Oko u razdoblju 17.11.2017. – 23.10.2019.

Na osnovu rezultata pet vodomjerenja na preljevu izvora Oko dobivena je konsumpcijska (protočna) krivulja koja je prikazana na slici 5.2-4. Mjerenja protoka vršena su u odvodnom kanalu koji je prikazan na slici 5.2-5, a koji se aktivira kada razine vode u izvoru Oko pređu relativnu razinu od 5,79 m od početne kote mjerača.



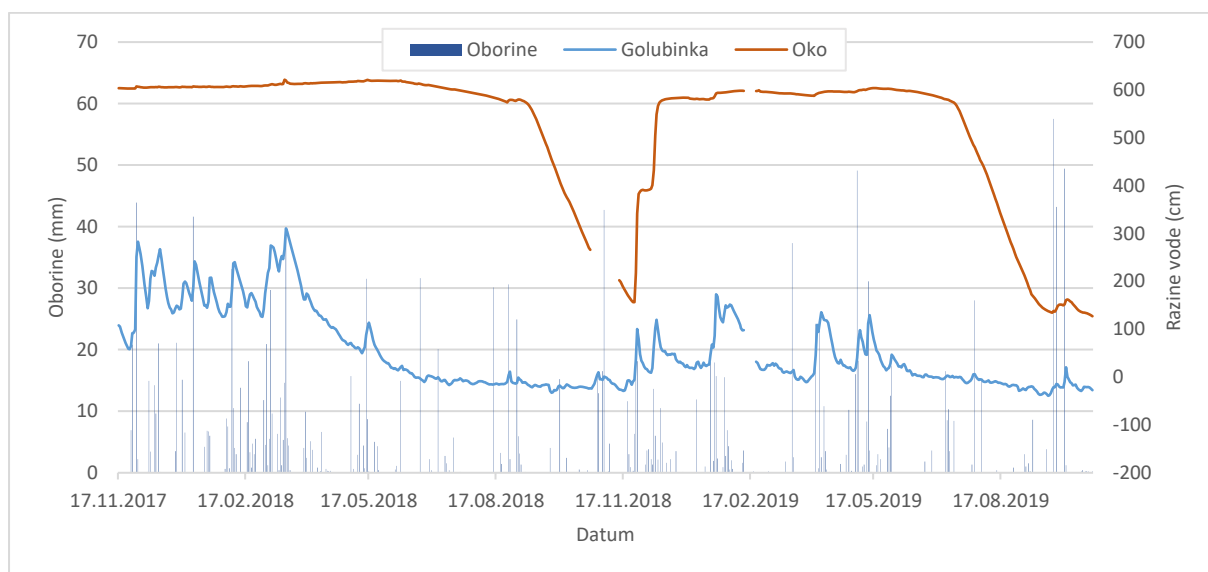
Slika 5.2-4. Protočna krivulja na izvoru Oko u funkciji razina vode na automatskom mjerачu



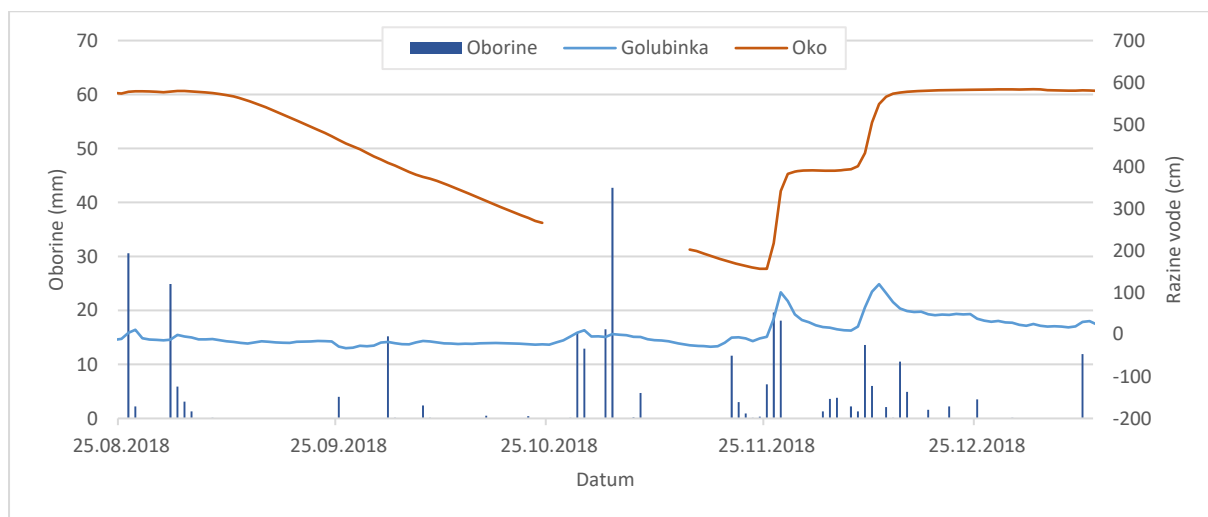
Slika 5.2-5. Odvodni kanal za izvoru Oko gdje su vršena mjerenja protoka (situacija 29.8.2018.)

Prikaz rezultata opažanja srednjih dnevnih vrijednosti razina vode na izvorima Golubinka i Oko u usporedbi sa dnevnim oborinama sa meteorološke postaje Zadar i Golubinka za cjelokupno razdoblje opažanja 17.11.2017. – 23.10.2019. dan je na [slici 5.2-6](#), te za izdvojeno razdoblje opažanja 25.8.2018. – 10.1.2019. na [slici 5.2-7](#).

Vidljivo je da izvor Oko sezonski reagira na promjene stanja klimatoloških prilika – vodniji dio godine karakteriziraju ga preljevne količine protoka s malim promjenama razine i količina istjecanja, a tijekom sušnijih sezonskih prilika, nekoliko uzastopnih mjeseci presušuje s vrlo ujednačenim režimom opadanja razine vode u njegovom vodonosniku. Slična dinamika opadanja razine vode na izvoru tijekom tog recesijskog razdoblja uočena je i u ljetnom razdoblju 2018. i 2019. godine, pri čemu su sušne prilike u njegovu podzemnom vodonosniku tijekom 2019. bile naglašenije, a razdoblje recesije se produljilo i nakon prestanka monitoringa 23.10.2019. Pri pojavama prvih jesenjih kiša, izvor Oko reagira tek kad se postigne dobra saturiranost podzemlja. Nasuprot tome, izvor Golubinka pokazuje puno dinamičniji režim kolebanja razine vode, s puno bržim reakcijama na pale oborine iz razloga puno veće otvorenosti njegova vodonosnika.



Slika 5.2-6. Prikaz rezultata opažanja dnevnih vrijednosti razina vode na izvorima Golubinka i Oko u usporedbi sa dnevnim oborinama sa meteorološke postaje Zadar i Golubinka za cjelokupno razdoblje opažanja 17.11.2017. – 23.10.2019.



Slika 5.2-7. Prikaz rezultata opažanja dnevnih vrijednosti razina vode na izvorima Golubinka i Oko u usporedbi sa dnevnim oborinama sa meteorološke postaje Zadar i Golubinka za izdvojeno razdoblje opažanja 25.8.2018. – 10.1.2019.

## 5.2.2. Monitoring na hidrološkim postajama DHMZ-a i analiza vjerojatnosti pojava odabranih pokazatelja

Kolebanje razina vode na TPV Bokanjac – Poličnik prati se, u sklopu programa redovnog monitoringa, na nekoliko hidroloških postaja DHMZ-a (slika 4-1), a to su: izvor Golubinka (1993. – 2018.), Boljkovac – Miljašić jaruga (1996. - 2018.), Poljaki – Miljašić jaruga (1996. - 2018.), Bokanjački tunel ulaz - Bokanjačko blato (1996. - 2018.), Bokanjački tunel izlaz - Bokanjačko blato (1996. - 2018.), Golubinka - Jadransko more (1995. - 2018.). Karakteristične mjesečne i godišnje razine vode prikazane su u tablici 5.2-2. Na svim hidrološkim postajama, osim na izvoru Golubinka, obračunavaju se i iskazuju i protoci te su karakteristični srednji mjesečni i godišnji podaci prikazani u tablici 5.2-3. Na slici 5.2-8 dan je prikaz hoda njihovih srednjih godišnjih vrijednosti protoka, a radi usporedbe u kontekstu povezivanja recentnih hidroloških prilika iz razdoblje nakon početka devedesetih s prethodnim razdobljima, prikazani i podaci srednjih godišnjih protoka s postaje Mokro Polje, locirane na susjednom slivu Zrmanje, za koju su na raspolaganju puno dulji nizovi protoka – od 1953.g.

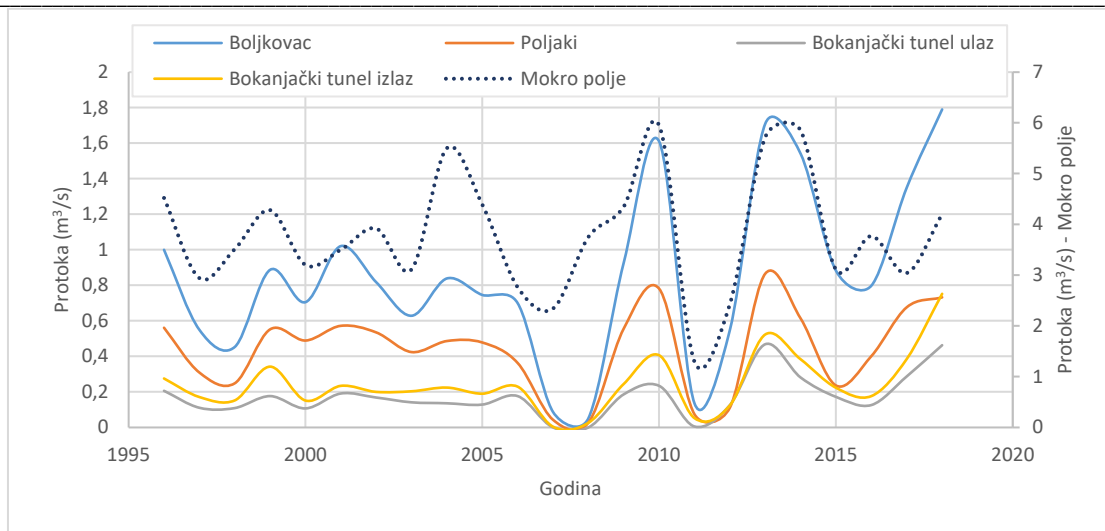
Tablica 5.2-2. Karakteristične mjesečne i godišnje razine vode na hidrološkim postajama izvor Golubinka, Boljkovac, Poljaki, Bokanjački tunel ulaz, Bokanjački tunel izlaz i Golubinka-Jadransko more

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
<b>Izvor Golubinka (1993. - 2018.)</b>													
SR	83	93	92	72	56	28	5	1	18	32	53	76	51
STDEV	66	72	72	47	44	33	15	26	44	42	43	62	29
CV	0,792	0,771	0,779	0,658	0,795	1,189	3,012	18,604	2,379	1,335	0,806	0,816	0,567
MAX	245	244	234	193	167	129	50	114	150	132	143	246	103
MIN	-37	-46	-51	4	-13	-25	-30	-33	-14	-23	-24	-18	-1
<b>Boljkovac - Miljašić jaruga (1996. - 2018.)</b>													
SR	50	50	50	42	38	33	28	26	31	31	38	45	
STDEV	15	14	12	11	8	5	4	7	15	8	11	15	
CV	0,301	0,283	0,250	0,251	0,201	0,157	0,159	0,259	0,476	0,270	0,292	0,339	
MAX	74	77	82	67	49	48	38	41	60	46	54	68	
MIN	22	SUHO	SUHO	24	24	22	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	
<b>Poljaki - Miljašić jaruga (1996. - 2018.)</b>													
SR	48	49	48	43	42	37	33			40	42	45	
STDEV	13	10	9	11	9	9	8			8	13	13	
CV	0,269	0,213	0,195	0,261	0,225	0,233	0,227			0,189	0,302	0,294	
MAX	74	70	66	65	60	51	43	49	55	48	65	71	
MIN	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	
<b>Bokanjački tunel ulaz - Bokanjačko blato (1996. - 2018.)</b>													
SR	53	53	49	43	42	41				41	43	53	
STDEV	15	12	16	12	8	3				1	10	11	
CV	0,281	0,229	0,318	0,289	0,188	0,079				0,017	0,245	0,199	
MAX	75	72	87	69	51	43				41	55	70	
MIN	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	
<b>Bokanjački tunel izlaz - Bokanjačko blato (1996. - 2018.)</b>													
SR	70	73	70	63	59	50	42	39	42	43	49	58	
STDEV	23	22	21	20	20	15	5	6	14	14	21	27	
CV	0,330	0,298	0,303	0,321	0,344	0,311	0,120	0,152	0,322	0,328	0,432	0,462	
MAX	115	107	119	105	114	91	51	52	77	76	96	107	
MIN	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	
<b>Golubinka - Jadransko more (1995. - 2018.)</b>													
SR	48	45	44	45	46	45	45	45	49	51	55	50	47
STDEV	10	11	12	7	8	9	8	8	5	7	8	11	6
CV	0,202	0,249	0,277	0,159	0,167	0,201	0,185	0,168	0,101	0,127	0,145	0,215	0,118
MAX	68	72	75	55	58	59	57	54	59	63	73	72	59
MIN	29	24	27	28	18	17	17	18	38	36	43	33	33

Tablica 5.2-3. Karakteristični mjesečni i godišnji protoci ( $m^3/s$ ) na hidrološkim postajama Boljkovac, Poljaki, Bokanjački tunel ulaz, Bokanjački tunel izlaz i Mokro polje - Zrmanja

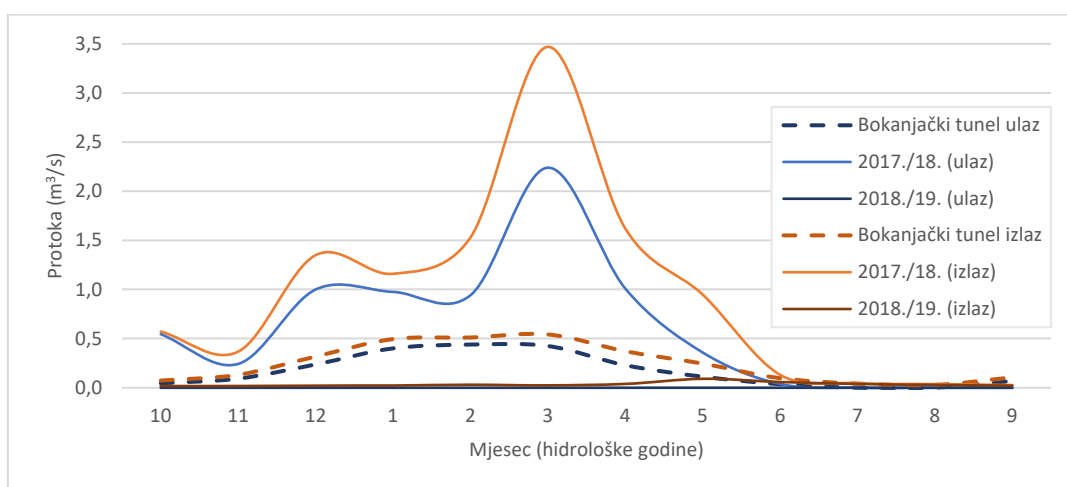
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
<b>Boljkovac - Miljašić jaruga (1996. - 2018.)</b>													
SR	2,030	1,972	1,715	0,978	0,616	0,263	0,126	0,054	0,38	0,224	0,624	1,326	0,86
STDEV	1,829	1,585	1,86	0,885	0,461	0,290	0,297	0,133	1,255	0,321	0,745	1,249	0,48
CV	0,90	0,804	1,09	0,91	0,75	1,10	2,37	2,46	3,27	1,43	1,19	0,94	0,56
MAX	5,83	5,2	8,83	3,44	1,62	1,45	1,46	0,624	5,77	1,19	2,36	3,68	1,79
MIN	0,011	0	0	0,063	0,027	0,016	0	0	0	0	0	0	0,051
<b>Poljaki - Miljašić jaruga (1996. - 2018.)</b>													
SR	1,00	0,977	0,825	0,563	0,431	0,208	0,069	0,018	0,207	0,077	0,276	0,635	0,440
STDEV	0,914	0,762	0,787	0,454	0,314	0,201	0,141	0,069	0,748	0,137	0,443	0,623	0,235
CV	0,914	0,780	0,954	0,806	0,729	0,964	2,05	3,94	3,62	1,78	1,60	0,980	0,534
MAX	2,83	2,72	3,70	1,69	1,31	0,837	0,659	0,333	3,48	0,484	1,49	1,95	0,865
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,027
<b>Bokanjački tunel ulaz - Bokanjačko blato (1996. - 2018.)</b>													
SR	0,401	0,439	0,424	0,230	0,113	0,036	0	0,001	0,068	0,045	0,092	0,237	0,174
STDEV	0,450	0,414	0,50	0,300	0,146	0,078	0	0,003	0,287	0,120	0,163	0,335	0,119
CV	1,123	0,943	1,181	1,308	1,297	2,174	/	4,796	4,190	2,671	1,763	1,416	0,684
MAX	1,36	1,21	2,24	1,14	0,428	0,30	0,002	0,012	1,37	0,545	0,535	1,0	0,468
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Bokanjački tunel izlaz - Bokanjačko blato (1996. - 2018.)</b>													
SR	0,495	0,511	0,542	0,372	0,245	0,097	0,043	0,029	0,105	0,072	0,131	0,318	0,247
STDEV	0,486	0,465	0,72	0,444	0,272	0,106	0,033	0,028	0,337	0,138	0,190	0,394	0,166
CV	0,98	0,910	1,32	1,19	1,11	1,09	0,767	0,982	3,21	1,91	1,45	1,24	0,672
MAX	1,58	1,53	3,47	1,62	0,947	0,464	0,145	0,132	1,58	0,572	0,648	1,35	0,752
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004
<b>Mokro polje - Zrmanja (1996. - 2018.)</b>													
SR	6,18	5,55	6,11	5,69	3,25	1,58	0,65	0,45	1,35	2,06	5,38	7,35	3,80
STDEV	3,65	4,05	4,16	2,88	1,29	1,06	0,31	0,40	2,13	1,90	2,94	4,74	1,19
CV	0,59	0,73	0,68	0,51	0,40	0,67	0,48	0,88	1,57	0,92	0,55	0,64	0,31
MAX	16,9	16,4	18,1	12,9	5,64	5,45	1,38	1,45	8,68	6,22	10,7	16,5	5,95
MIN	1,28	0,95	1,25	1,41	0,78	0,59	0,25	0	0	0	0,001	0,54	1,29
<b>Mokro polje - Zrmanja (1953. - 2018.)</b>													
SR	6,28	6,29	6,20	6,62	4,20	2,55	0,98	0,51	1,40	2,85	6,12	7,95	4,33
STDEV	4,05	4,37	3,51	3,11	2,10	1,72	0,64	0,49	2,11	3,77	4,14	5,34	1,26
CV	0,646	0,695	0,565	0,470	0,498	0,676	0,650	0,959	1,510	1,322	0,676	0,671	0,291
MAX	21,4	19,3	18,1	17,6	10	8,54	2,82	2	11,6	24,9	23,7	27,6	7,61
MIN	0,597	0,575	1,23	1,41	0,779	0,594	0,138	0	0	0	0,001	0,543	1,29

Za napomenuti je da su na analiziranom području postojala i prije 1996.g. izvjesna hidrološka praćenja, ali nisu sačuvani izvorno mjereni podaci, nego neki fragmenti. Tako se u Hidrološkoj studiji Bokanjačkog blata (GF ZG, 1969) spominje da su postojala praćenja razine vode u Bokanjačkom blatu još za vrijeme talijanske uprave tim područjem (1935.-1938.), kao i u razdoblju prije probijanja tunela (1953./54. – 1962./63.), a nakon izgradnje tunela, tijekom 1966./67. praćena u i istjecanja voda iz lokaliteta Jezerce. U studiji GRAĐEVINSKOG INSTITUTA SPLIT (1978), navodi se da su na lokacijama Tunel Bokanjac ulaz i izlaz postojala hidrološka praćenja u razdoblju 1966.-1977., ali s puno prekida i nepouzdanih podataka. U studiji ELEKTROPROJEKTA (1994) navodi se postojanje monitoringa na ulazu i izlazu iz tunela i u razdoblju 1977.-1981.



Slika 5.2-8. Hod srednjih godišnjih protoka na postajama Boljkovac – Miljašić jaruga, Poljaki – Miljašić jaruga, Bokanjački tunel ulaz - Bokanjačko blato, Bokanjački tunel izlaz - Bokanjačko blato i Mokro polje - Zrmanja za razdoblje 1996. – 2018.

Iz danih prikaza vidljivo je da su tijekom razmatranog razdoblja 1996. - 2018. zabilježene dvije iznimno sušne godine – 2008. kojoj je prethodila vrlo sušna 2007., kao i 2011., a koja se protegnula s još naglašenijim sušnim prilikama u većem dijelu naredne, 2012. godine. Tijekom 2008.g. su gotovo cijele godine na svim hidrološkim postajama s područja TPV Bokanjac – Poličnik protoci bili ili minorni ili je zabilježeno višemjesečno presušivanje protoka. Godine 2017., a posebno 2018., bile su vrlo vodne za slivove/vodotoke na području TPV Poličnik – Boljkovac, čemu je vrlo značajan doprinos dala pojava ekstremnog poplavnog vala iz listopada 2017.g. Iz slike 5.2-8 vidljivo je da su na mjernoj postaji Bokanjački tunel – izlaz tijekom svih analiziranih godina zabilježeni veći srednji godišnji protoci nego li su zabilježeni na postaji Bokanjački tunel - ulaz, a što ukazuje da se na dionici toka odvodnje Bokanjačkog blata duž tunela javlja prirast protoka. To je razlog što sam tunel djeluje kao drenaža podzemnih voda na tom prostoru u situacijama kada su one više od razine dna korita tunela. Na slici 5.2-9 dan je prikaz srednjih mjesečnih protoka na spomenutim dvama postajama za cjelokupno raspoloživo razdoblje, kao i za hidrološke godine 2017./18. te 2018./19. tijekom kojih je proveden hidrološki monitoringa.



Slika 5.2-9. Usporedba srednjih mjesečnih protoka na hidrološkim postajama Bokanjački tunel ulaz i Bokanjački tunel izlaz na Bokanjačkom blatu (1996.-2018, te hidrološke 2017./18. i 2018./19.)



Iz nje je vidljivo da tijekom vodnijih razdoblja, odnosno razdoblja dotoka vode u tunel Bokanjac, ovisno o kalendarskom mjesecu, prosječan prirast protoka u tunelu se kreće reda veličine 50-100 L/s, a tijekom sušnijih mjeseci on se kreće između 0 i oko 50 L/s. Iz danog prikaza vidi se koliko je 2017./18. bila vodnija od prosjeka iz razloga što je čitav vodni dio godine (od listopada do svibnja), količina vode koja utječe u tunel, kao i količina podzemnih voda koje se dreniraju tunelom bila iznimno veća od prosječnih prilika. Nasuprot tome, hidrološka godina 2018./19. bila je iznimno sušnija od prosjeka.

Razlika u količinama voda koje istječu i dotječu u tunel dala je sedamdesetih godina prošlog stoljeća povod razmišljanjima da se problem nedostatka dovoljnih količina vode za potrebe vodoopskrbe Zadra pokuša ublažiti korištenjem određenih količina voda s lokacije tunel izlaz, te smanjenjem gubitaka vode iz vodoopskrbne mreže (GRAĐEVINSKI INSTITUT SPLIT, 1978).

U tablici 5.2-4 dane su vjerojatnosti pojava/povratni period srednjih godišnjih protoka (po hidrološkim godinama) na postajama: Boljkovac – Miljašić jaruga (1996./97.–2018./19.), Poljaki – Miljašić jaruga (1996./97.–2018./19.), Bokanjački tunel ulaz - Bokanjačko blato (1996./97.–2018./19.) i Morko polje – Zrmanja (1953./54.–2018./19. i 1996./97.–2018./19.), te ukupnih godišnjih oborina na postaji Zadar (1961./62.–2018./19. i 1996./97.–2018./19.). Vjerojatnosti su dane i za pojave malih i velikih voda za 6 povratnih perioda. Također u tablici 5.2-5 dani su povratni periodi za određene godine – najsušnije godine i godine tijekom kojih su na pojedinim izvorima s područja TPV Bokanjac – Poličnik zabilježene najveće koncentracije sadržaja klorida u izvorskim vodama (2006./07., 2007./08. i 2011./12.), te za 2017./18. i 2018./19. tijekom kojih je proveden operativni monitoring.

Tablica 5.2-4. Vjerojatnost pojava/povratni period srednjih godišnjih protoka (po hidrološkim godinama) na postajama Morko polje – Zrmanja, Bokanjački tunel ulaz - Bokanjačko blato, Boljkovac – Miljašić jaruga, Poljaki – Miljašić jaruga, te ukupnih godišnjih oborina na postaji Zadar

		God Oborine - Zadar		Boljkovac - Miljašić jaruga	Poljaki - Miljašić jaruga	Bokanjački tunel ulaz	Morko polje - Zrmanja	
		(mm)		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	
Razdioba		GEV		Log Pearson III	GEV	GEV	GEV	
Razdoblje obrade		1961./62. – 2018./19.	1996./97. – 2018./19.	1996./97. – 2018./19.	1996./97. – 2018./19.	1996./97. – 2018./19.	1953./54. - 2018./19.	1996./97. - 2018./19.
Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	<b>Najmanje pojave</b>						
2	50	918,8	888,9	0,740	0,43	0,130	4,30	3,81
5	20	748,3	720,1	0,242	0,18	0,042	3,23	2,75
10	10	659,9	641,4	0,111	0,06	0,007	2,70	2,21
20	5	587,9	580,8	0,052	0	0	2,27	1,77
50	2	508,0	516,8	0,020	0	0	1,81	1,30
100	1	455,6	476,4	0,010	0	0	1,51	0,985
Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	<b>Najveće pojave</b>						
2	50	918,8	888,9	0,740	0,428	0,130	4,30	3,81
5	20	1084,0	1084,1	1,47	0,671	0,264	5,42	4,87
10	10	1163,4	1195,9	1,83	0,791	0,363	5,99	5,39
20	5	1223,0	1291,8	2,08	0,883	0,468	6,45	5,80
50	2	1281,5	1401,0	2,28	0,976	0,618	6,92	6,20
100	1	1314,9	1473,3	2,37	1,03	0,743	7,20	6,44

Tablica 5.2-5. Povratni period javljanja srednjih godišnjih protoka i ukupnih godišnjih oborina (po hidrološkim godinama) za izdvojene godine – 2006./07., 2007./08. i 2011./12., te za 2017./18. i 2018./19. tijekom kojih je proveden monitoring

		God Oborine – Zadar		Boljkovac - Miljašić jaruga	Poljaki - Miljašić jaruga	Bokanjački tunel ulaz	Mokro polje – Zrmanja	
		(mm)		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	
Razdioba		GEV		Log Pearson III	GEV	GEV	GEV	
Razdoblje obrade		1961./62.	1996./97.	1996./97.	1996./97.	1996./97.	1953./54.	1996./97.
		-	-	-	-	-	-	-
		2018./19.	2018./19.	2018./19.	2018./19.	2018./19.	2018./19.	2018./19.
Hidrološka godina	Smjer pojave							
<b>Prethodno opažene iznimno sušne godine</b>								
2006/07	Najmanje pojave	12	10	12	11	12	34	14
2007/08	Najmanje pojave	29	28	55	14	12	11	6
2011/12	Najmanje pojave	4	4	24	14	12	159	47
<b>Godine operativnog monitoringa</b>								
2017/18	Najmanje pojave	2	1,5	1,0	1,0	1,0	1,4	1,2
2018/19	Najmanje pojave	3	2	5	14	12	7	4
2017/18	Najveće pojave	3	3	44	30	49	3	6
2018/19	Najveće pojave	2	1,8	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su tijekom razdoblja trajanja operativnog monitoringa analiziranog razdoblja zabilježene vrlo povoljne hidrološke prilike. Iako je raspoloživi niz hidroloških podataka relativno kratak za postaje koje se nalaze unutar granice TPV Bokanjac – Poličnik (23 godine), što je nedovoljno za pouzdano statističko zaključivanje, posebno o događajima rijetkih vjerojatnosti pojavljivanja, ipak su indikativni jer se vrlo dobro podudaraju s procjenama vjerojatnosti pojave godišnjih količina oborina postaje Zadar. Naime, kod te klimatološke postaje vrlo bliske rezultate u pogledu ocjene karaktera pojava godišnjih količina oborina za odabrane godine dali su i rezultati dobiveni na osnovu spomenutog kraćeg, 23-godišnjeg niza podataka (1996./97. – 2018./19.), kao i dugogodišnjeg (58 godina) niza podataka (1961./62. – 2018./19.). No, hidrološke prilike, odnosno zabilježeni srednji godišnji protoci pokazuju ipak naglašeniju varijabilnost u njihovim pojavama, pa i veći raspon vjerojatnosti njihova pojavljivanja, odnosno povratnog perioda njihovih zapaženih pojava. Kod još duljeg niza raspoloživih podataka o srednjim godišnjim protocima za postaju Mokro polje na Zrmanji (1953./54. – 2018./19.) nije postignuta takva podudarnost u procjenama karaktera pojava iznimno sušnih godina (2006./07., 2007./08., 2011./12.), ali je ista iskazana u procjenama karaktera pojava dvaju hidroloških godina tijekom hidrološkog monitoringa.

Tako je 2017./18. u pogledu pojave najmanjih srednjih godišnjih protoka kod svih postaja na TPV Bokanjac – Poličnik ocijenjena s redom veličine 1-godišnjeg povratnog perioda, a u pogledu pojave najvećih srednjih godišnjih protoka iznimno rijetkom – reda veličine 30-50 godišnjeg povratnog perioda. Hidrološka 2018./19. je u pogledu pojava najmanjih srednjih godišnjih protoka imala puno sušniji karakter – reda veličine između 5 i 14-godišnjeg povratnog perioda, dok je u pogledu pojave najvećih srednjih godišnjih protoka ona imala vrlo uobičajen karakter pojave – reda veličine 1-godišnjeg povratnog perioda. Izdvojene iznimno sušne godine imale su uglavnom puno rjeđi karakter pojave njihovih najmanjih srednjih godišnjih vrijednosti, pogotovo kod nizvodnije postaje Boljkovac – Miljašić jaruga koja je i mjerodavnija za ocjenu stanja za TPV Bokanjac – Poličnik, gdje su zabilježenim srednji godišnji protoci tih kritičnih godina imali karakter pojave između 12 i 55 godišnjeg povratnog perioda.

### **5.2.3. Zasljanjivanje izvorišta**

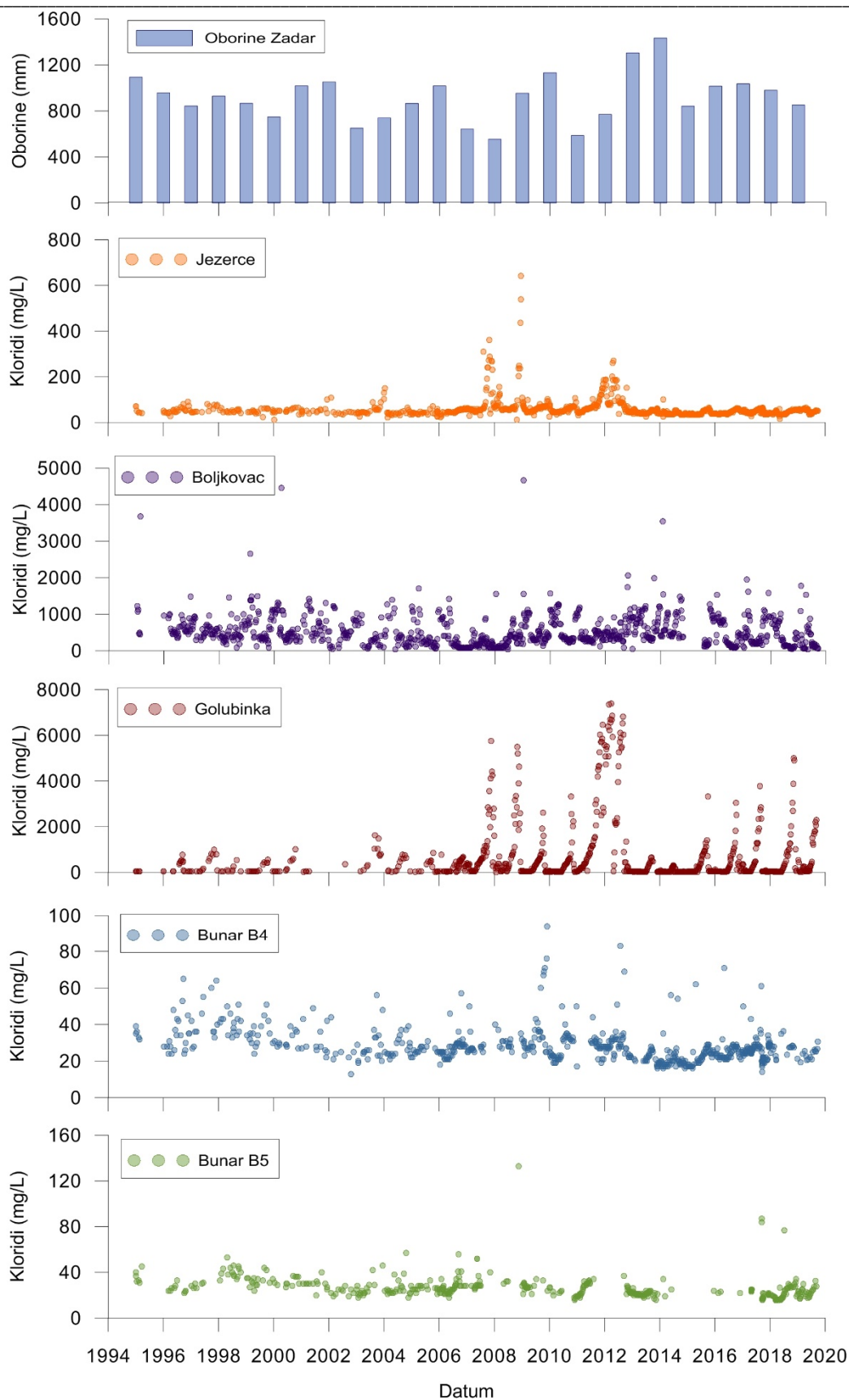
Pojave povećanih sezonskih sadržaja klorida (iznad MDK) na izvorištima vodoopskrbe s područja TPV Bokanjac – Poličnik karakteriziraju sva izvorišta vodoopskrbe izuzev bunara/izvora B-4 i B-5, gdje se blaga povećanja sadržaja klorida vrlo rijetko javljaju i daleko su ispod granice MDK. Prema postojećim propisima MDK sadržaja klorida u vodi za piće iznosi 250 mg/L, a električna vodljivost 2500  $\mu$ S/cm pri 20°C. Povećanja sadržaja klorida u podzemnim vodama na ostalim izvorištima te TPV su posljedica dvaju razloga – prirodnih uvjeta cirkulacije podzemnih voda i mora na širem području njihova istjecanja, kao i precrpljivanjima vodnih zaliha u uvjetima nepovoljnih hidroloških prilika. Povećanja sadržaja klorida javljaju se tijekom dvaju karakterističnih situacija - tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja u vidu postupnih povećanja sadržaja klorida ili pak kad se tijekom takvih dugotrajnih sušnih razdoblja pojave značajnije oborine. Takve oborine uvjetuju pojave povećanih dotoka u dijelovima krškog vodonosnika, te dolazi do naglih promjena hidrauličkih uvjeta u podzemlju, mijenjanja granica slane i slatke vode, te izdizanja i potiskivanja zaslanjenih podzemnih voda iz dubljih i udaljenijih dijelova vodonosnika kroz mjesto njihova najmanjeg hidrauličkog otpora – samo izvorište.

Na analiziranom području TPV Bokanjac – Poličnik pojave zaslanjivanja se najučestalije, gotovo svake godine, javljaju na dvama od njih – izvoru Golubinka u situacijama kad mu se tijekom sušnog razdoblja smanji izdašnost, a kod vodozahvata Boljkovac u uvjetima pojave značajnijih oborina tijekom trajanja sušnih razdoblja. I na vodozahvatu Jezerce se mogu javiti povećanja zaslanjivanja zahvaćenih količina voda, ali se ona javljaju samo u iznimno sušnim godinama.

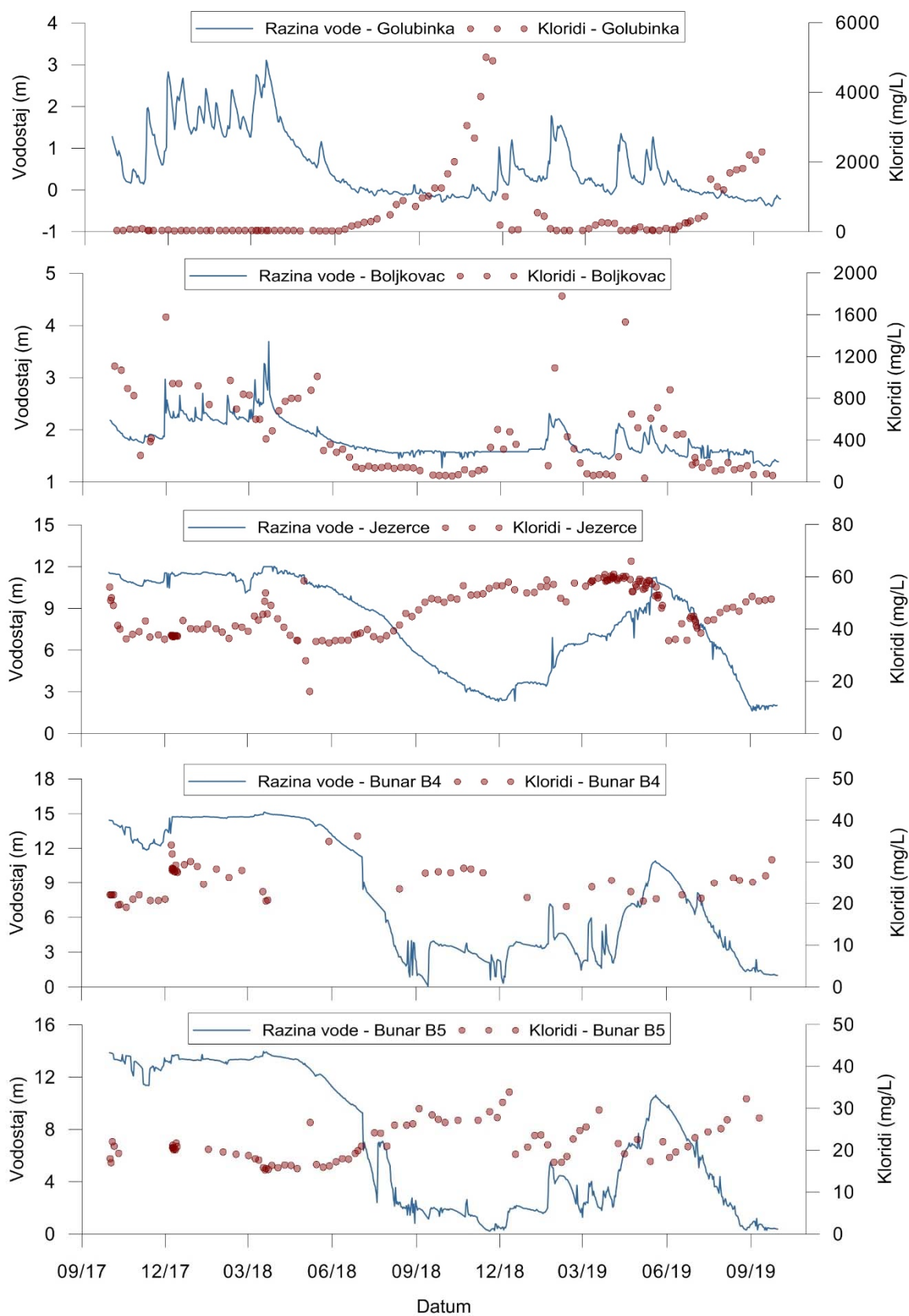
Podatke o sadržaju klorida na vodozahvatima Jezerce, Boljkovac, izvor Golubinka, bunar B4 i bunar B5, za potrebe izrade ovog elaborata ustupio je Vodovoda d.o.o. Zadar za razdoblje od 1995. do rujna 2019. Podaci o električnoj vodljivosti dostupni su samo na izvoru Golubinka i Oko tijekom razdoblja operativnog monitoringa od 17.11.2017. do 23.10.2019. Električna vodljivost tijekom razdoblja operativnog monitoringa bilježena je sa satnom vremenskom diskretizacijom, dok su uzrokovanja sadržaja klorida provođena u prosjeku četiri puta mjesečno.

Na **slici 5.2-10** dan je prikaz rezultata uzorkovanja sadržaja klorida na svim vodozahvatima s područja TPV Bokanjac – Poličnik tijekom cjelokupnog raspoloživog razdoblja 1995.-2019., kao i godišnjih količina oborina. Iz danog je prikaza vidljivo da razdoblje unutar kojega je provođen operativni monitoring, u pogledu zabilježenih godišnjih količina oborina kao i sadržaja klorida, nije spadalo u neka kritična razdoblja kakvu su zabilježena 5-10 godina ranije. Iz tog razloga na Jezercu nisu zabilježene pojave povećanih sadržaja klorida, a i na ostalim vodozahvatima zabilježene su vrijednosti bile uglavnom niže nego li prethodnih kritično sušnih godina.

Na **slici 5.2-11** dan je prikaz sadržaja klorida i razina vode na analiziranim vodozahvatima za razdoblje od listopada 2017. do rujna 2019., tijekom kojega je provođen spomenuti operativni monitoring. Razine vode dobivene su na temelju rezultata telemetrijskog sustava Vodovoda Zadar. Na tom se prikazu vrlo jasno vidi razlika u spomenutom mehanizmu zaslanjivanja voda na izvorištu Golubinke i Boljkovcu – kod Golubinke se postupno povećanja sadržaja klorida nastupom sušnih prilika te intenziviranje zaslanjivanja s trajanjem sušnog razdoblja, a kod vodozahvata Boljkovac vidljivo je da se najveća zaslanjivanja javljaju tijekom trajanja vodnih razdoblja. Na bunarima B4 i B5, sadržaji klorida tijekom tog razdoblja operativnog monitoringa nisu premašila MDK, ali je vidljivo da se postupno povećavaju s trajanjem sušnih razdoblja. Kod Jezerca sadržaji klorida rastu s trajanjem sušnog razdoblja, ali se isprva ne smanjuju uslijed nastupa vodnijih hidroloških prilika, već je za to potrebno njihovo puno dulje trajanje.



Slika 5.2-10. 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



Slika 5.2-11. Usporedni prikaz dnevnih razina vode i uzrokovanja sadržaja klorida na vodozahvatima Golubinka, Boljkovac, Jezerce, bunaru B5 i bunaru B6 u razdoblju monitoringa od listopada 2017. do rujna 2019.

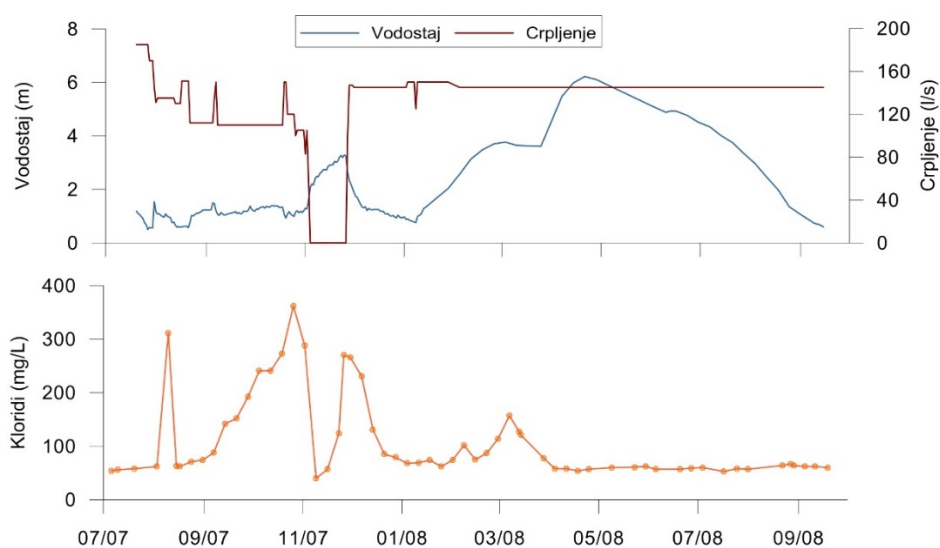
Iz prikaza je vidljivo da su se na vodozahvatima TPV Bokanjac – Poličnik u razdoblju nakon ekstremno sušne 2012.g. povećani sadržaji klorida (iznad MDK) na Golubinki i Boljkovcu javljali puno rjeđe, i s manjim vršnim vrijednostima. Na Jezercu povećani sadržaj klorida javljali se samo u razdoblju do zaključno 2012.g., dok je u novijem razdoblju dosta ujednačen sadržaj klorida, sa srednjom vrijednosti od 46 mg/L, te maksimalnom od 66 mg/L. Povećani sadržaj klorida javio se nakon uzastopne dvije vrlo sušne godine 2006./2007. i 2007./2008. U listopadu 2007. g. maksimalan sadržaj klorida iznosi je 362 mg/L, a u prosincu 2008. iznosio je 642 mg/L, što maksimalna ikad zabilježena vrijednost. Također je tijekom 2002. i 2004. godine, sadržaj klorida bio povišen, ali nije prešao MDK. Tijekom razdoblja operativnog monitoringa (posljednje dvije hidrološke godine) smanjio se broj dana sa sadržajem klorida iznad MDK na izvoru Boljkovac, a čega je najvjerojatiji razlog smanjene zahvaćene količine voda iz tog vodozahvata zbog rekonstrukcije crpne postaje.

U **tablici 5.2-6** dan je broj dana uzorkovanja vode, te broj dana sa povišenim sadržajem klorida (preko 250 mg/L) na vodozahvatima Jezerce, Boljkovac, Golubinka, bunar B4 i B5 u razdoblju 1995.-2012., 2013.-2019. i 2018.-2019. Iz tablice vidimo da Boljkovac ima najveći broj dana sa povišenim sadržajem klorida i to za razdoblja 1995.-2012. i 2018.-2019. (78% i 46%), dok za razdoblje 2013.-2019. najveći broj dana ima Golubinka (31%). Ako se ne uzmu u obzir bunari B4 i B5, koji za sva tri razdoblja nemaju ni jedan dan povećane sadržaje klorida, najmanji broj dana ima Jezerce, i to 2% za razdoblje 1995.-2012., te ni jedan dan za preostala dva razdoblja.

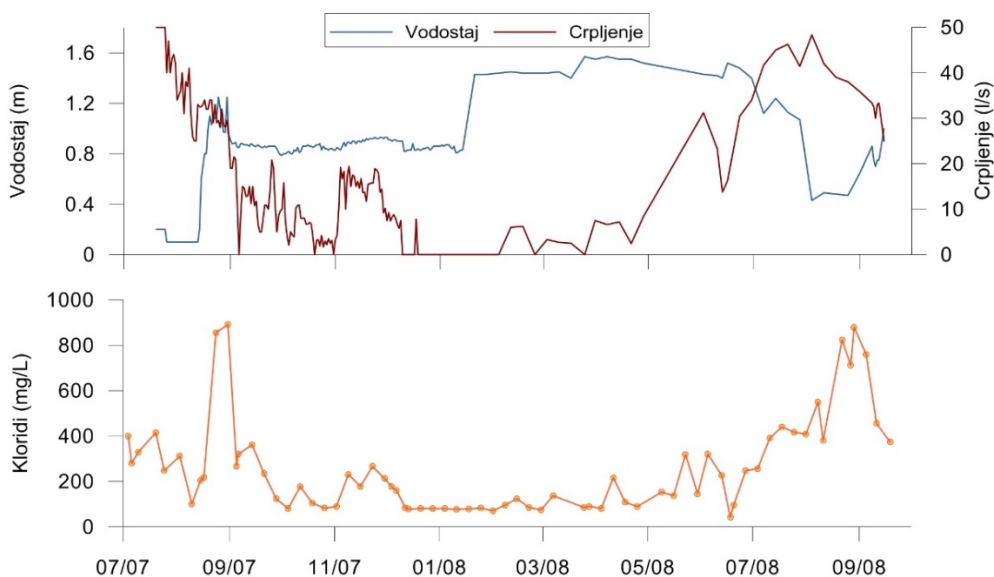
Tablica 5.2-6. Broj dana uzorkovanja vode, te broj dana sa povišenim sadržajem klorida (preko 250 mg/L) na vodozahvatima Jezerce, Boljkovac i Golubinka u razdoblju 1995.-2019.

<b>Oborine (mm) - hidrološke godine</b>				
	1994./1995. - 2011./2012.	2012./2013. - 2018./2019.	2017./2018. - 2018./2019.	
Sr GOD	857,1	1066,7	916,4	
Min GOD	554,5	842,6	852,2	
<b>Uzrokovanja klorida</b>				
	Broj dana uzrokovanja	Broj dana preko 250 mg/L	Broj dana preko 250 mg/L (%)	Max kloridi (mg/L)
<b>1995. - 2012.</b>				
Jezerce	541	11	2%	642
Boljkovac	725	566	78%	4666
Golubinka	459	254	55%	7384
Bunar B4	375	0	0%	94
Bunar B5	264	0	0%	133
<b>2013. - 9.2019.</b>				
Jezerce	429	0	0%	101
Boljkovac	297	48	16%	3546
Golubinka	353	109	31%	5006
Bunar B4	289	0	0%	71
Bunar B5	150	0	0%	87
<b>2018. - 9.2019.</b>				
Jezerce	134	0	0%	66
Boljkovac	82	38	46%	1780
Golubinka	88	36	41%	5006
Bunar B4	32	0	0%	31
Bunar B5	68	0	0%	77

Kako crpljenja utječu na promjene sadržaja klorida zorno je vidljivo iz [slika 5.2-12](#) i [5.2-13](#), u kojima je prikazana situacija iz razdoblja 2007. i 2008. godine kada su se tijekom jeseni 2007.g. i na Jezercu i na Boljkovcu javila vrlo značajna povišenja sadržaja klorida. Na [Slici 5.2-12](#) vidljivo je da je početkom studenog 2007.g. prestankom crpljenja porasla razina vode na vodozahvatu, te se vrlo drastično smanjio sadržaj klorida (s 362 mg/L na svega 40 mg/L), da bi se ponovnim početkom crpljenja nakon nekoliko dana, sadržaj klorida potkraj istoga mjeseca ponovno dosegao vrijednosti iznad MDK (270 mg/L). Kod vodozahvata Boljkovac najveća se zaslanjivanja javljaju pri pojavama većih voda. No, izvjesna povezanost crpljenja, razina vode i povećanog sadržaja klorida postoji i očituje se da se smanjivanjem količine crpljenja smanjuju kloridi, a pri povećanju, oni rastu uz istovremeno smanjivanje razine vode u vodozahvatu. Moguće je da crpljenja i u uvjetima kad kloridi ne prelaze MDK uvjetuju smanjenje nadpritiska slatkih voda u tim rubnim dijelovima vodonosnika, te dublje uvlačenje zaslanjene morske vode u utjecajnu zonu zahvata gdje se pri pojavama pojačanih dotoka mijenjaju ravnotežni uvjeti, te dolazi do prodora zaslanjene morske vode u izvorišnu zonu.

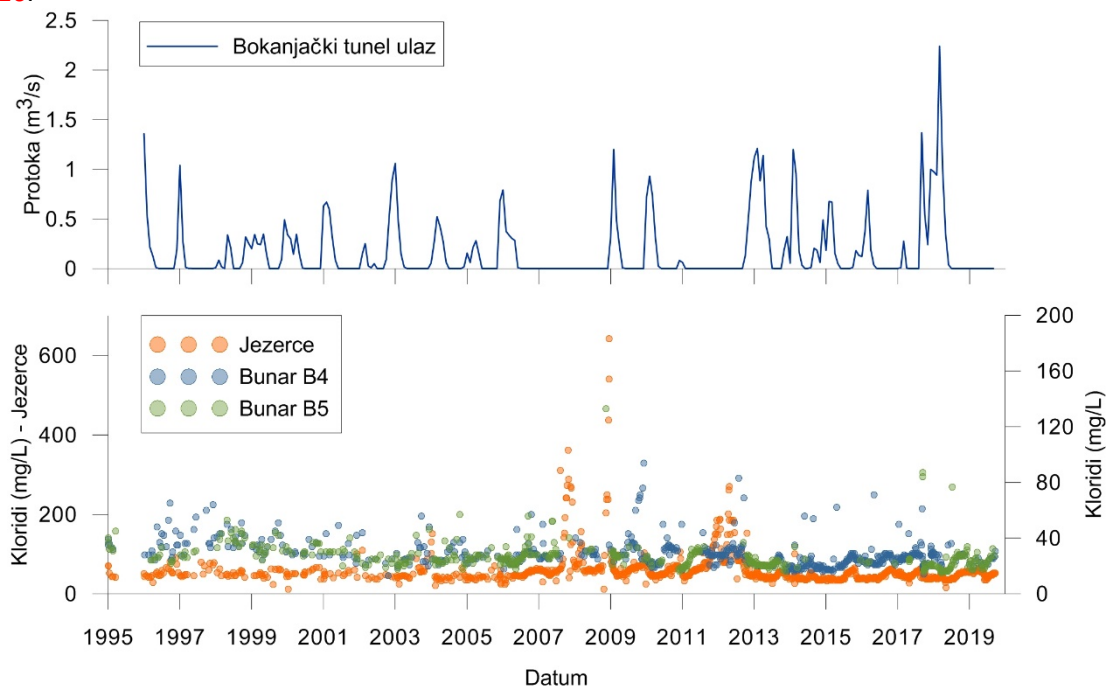


Slika 5.2-12. Vodozahvat Jezerce - prikaz međudnosa kolebanja razine vode na vodozahvatu, crpljenja i sadržaja klorida (2007.-2008.)

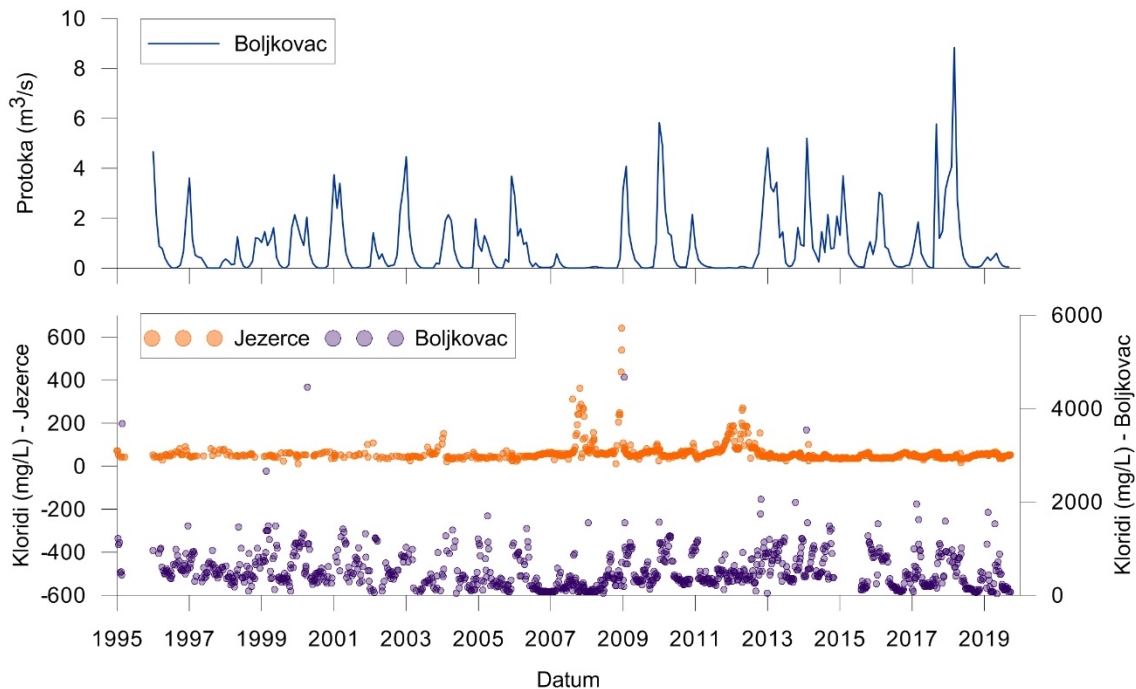


Slika 5.2-13. Vodozahvat Boljkovac - prikaz međudnosa kolebanja razine vode na vodozahvatu, crpljenja i sadržaja klorida (2007.-2008.)

Da bi se dobio uvid kako hidrološke prilike u širem okruženju utječu na stanje zaslanjenosti podzemnih voda na pojedinim vodozahvatima u razdoblju od 1995. do 2019., dani su prikazi na slikama 5.2-14 – 5.2-16.

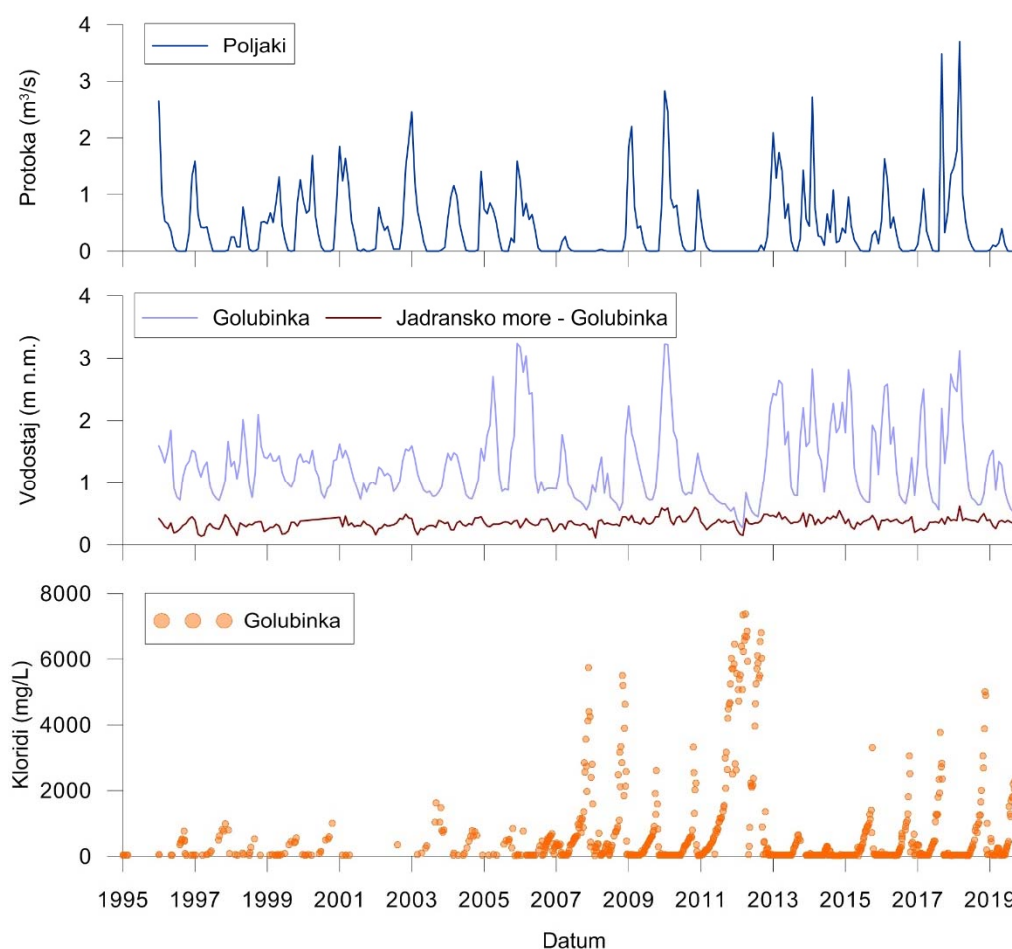


Slika 5.2-14. Prikaz međudnosa sadržaja klorida na vodozahvatima s Bokanjačkog blata i protoka voda koje s Bokanjačkog blata utječu u tunel (1995.-2019.)



Slika 5.2-15. Prikaz međudnosa sadržaja klorida na Jezercu i Boljkovcu i protoka na hidrološkoj postaji Boljkovac – Miljašić jaruga (1995.-2019.)



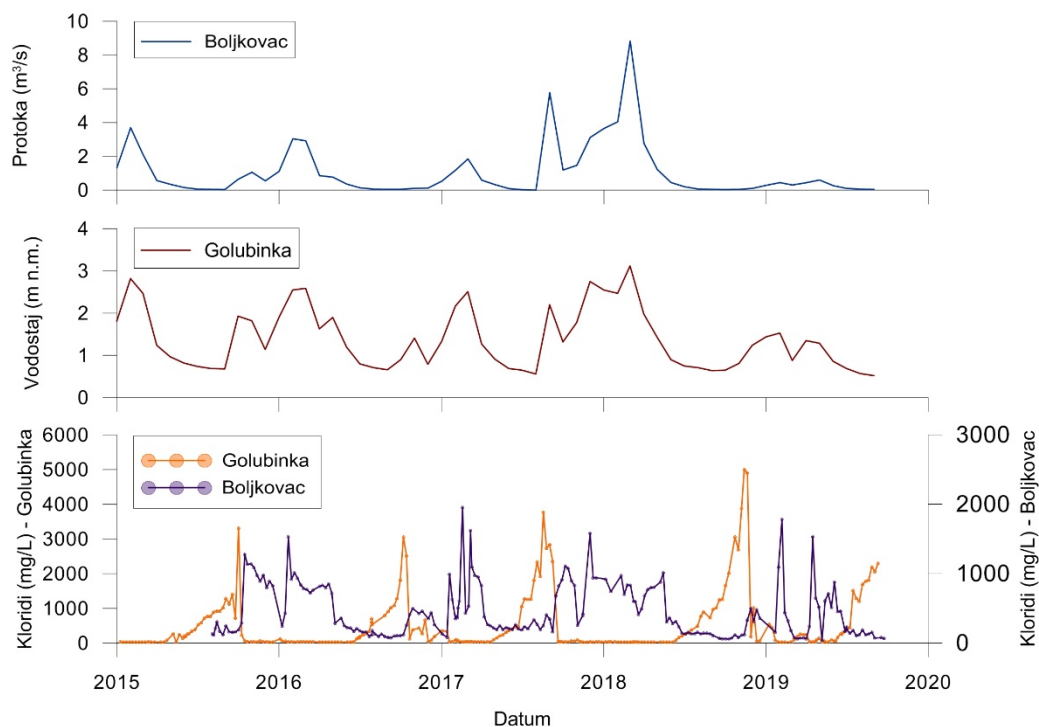


Slika 5.2-16. Prikaz međuodnosa sadržaja klorida i razina mora na izvoru Golubinka i protoka hidrološkoj postaji Poljaki – Miljašić jaruga (1995.-2019.)

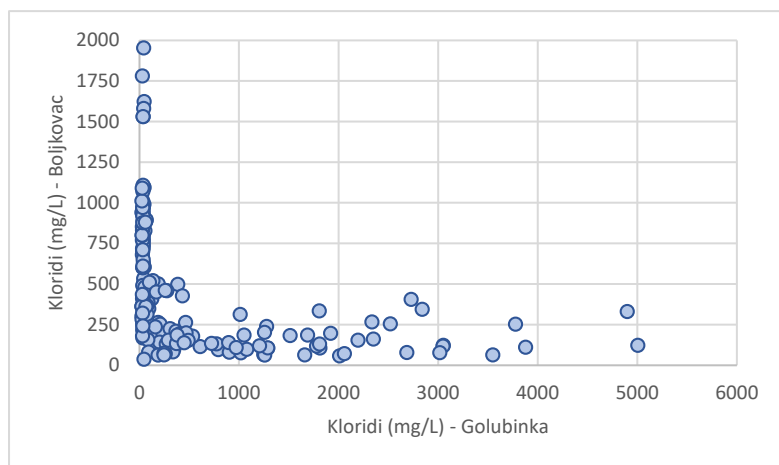
Iz danih je prikaza vidljivo da pojave ekstremnih sadržaja klorida na Jezercu i bunarima B4 i B5 koincidiraju s dugotrajnim presušivanjima dotoka vode s Bokanjačkog blata u tunnel. Slično je i kod izvora Golubinke u odnosu na protok koje su zabilježene na hidrološkoj postaji Poljaki - Miljašić jaruga s kojim prostorom Golubinka nije hidrografski povezana, ali su protoci na Miljašić jarugi indikativni za ocjenu stanja na Golubinki.

Usporedni prikaz dnevnih razina vode na izvoru Golubinka, dnevnih protoka na hidrološkoj postaji Boljkovac – Miljašić jaruga i rezultata uzrokovanja sadržaja klorida na izvorima Golubinka i Boljkovac u razdoblju od studenog 2015. do rujna 2019. dan je na [slici 5.2-17](#). Također dan je i odnos između sadržaja klorida na izvorima Golubinka i Boljkovac ([slika 5.2-18](#)), kao i odnosa između razina vode i sadržaja klorida kod izvora Golubinka ([Slika 5.2-19](#)). Iz spomenutih prikaza vidimo da se sadržaj klorida na oba izvora pojavljuje u različitim periodima. Na izvoru Golubinka sadržaj klorida povećava se u ljetnim sušnim mjesecima kada padne razina vode, dok je na izvoru Boljkovac u to vrijeme sadržaj klorida nizak, a povećava se s nastupom kišnih perioda i porastom razina. Te su intruzije uglavnom veće kod visokih razina podzemne vode, najvjerojatnije zbog ispiranja dubljih i jače zaslanjenih krških sifona i hidrauličkog potiskivanja „džepova zaslanjene morske vode“ prema samom izvorištu kao mjestu puno manjega hidrauličkog otpora u odnosu na put kojim je zaslanjena morska voda dospjela u aktivne dijelove krškog vodonosnika. No, u nekim se situacijama javlja i koincidencija povećanih sadržaja

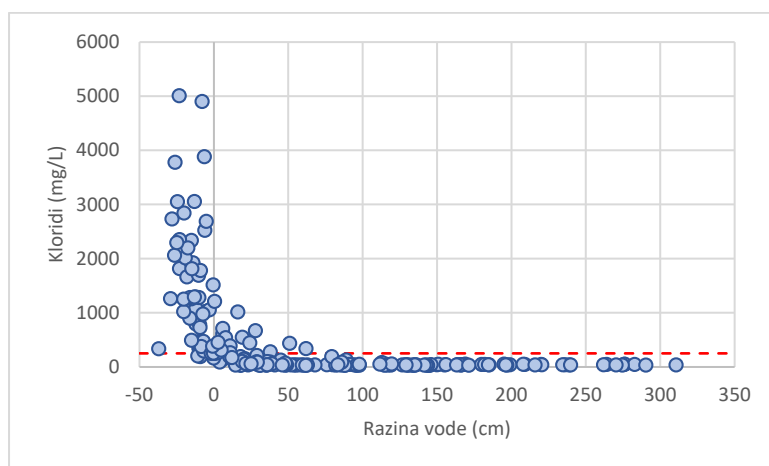
klorida i na Boljkovcu i na Golubinki. Radi se o situacijama kod kojih je došlo do dugotrajnijeg zaslanjivanja Golubinka, a povećani dotoci koji su se javili tijekom tog razdoblja nisu bili dovoljni da se oslade vode Golubinka, no isti su izazvali podizanje zone miješanja na Boljkovcu, te povećanje sadržaja klorida u njegovim vodama.



Slika 5.2-17. Usporedni prikaz dnevnih razina vode na izvoru Golubinka i uzrokovanja sadržaja klorida na izvorima Golubinka i Boljkovac u razdoblju od 2015. do rujna 2019.



Slika 5.2-18. Odnos između sadržaja klorida na izvorima Golubinka i Boljkovac u razdoblju od studenog 2015. do rujna 2019.



Slika 5.2-19. Odnos između sadržaja klorida i srednje dnevne razine vode na izvoru Golubinka od studenog 2015. do rujna 2019.

Međusobna povezanost dinamike kolebanja razine vode na vodozahvatima TPV Bokanjac – Poličnik analizirana je putem matrice korelacije osmotrenih razina voda (tablici 5.2-7). Iz tablice vidimo da je najčvršći odnos razina vode između izvora/bunara 4 i 5 na Bokanjcu, te Golubinke i Boljkovca (ako se ne uzme u obzir odnos između očitanih i DHMZ-ovih podataka Golubinke). Iz tog razloga, nedostajući podaci o razinama vode na vodozahvatu Boljkovac nadopunjeni su preko regresijskih veza njegovih podataka s podacima na izvoru Golubinka.

Tablica 5.2-7. Matrica korelacija između razina vode očitanih u 7:00 h na izvorima Golubinka, Boljkovac, Jezerce, bunar B4, bunar B5 i srednjih dnevnih razine vode na izvoru Golubinka (DHMZ) u razdoblju od 2011. do rujna 2019.

	Izvori - B4	Izvori - B5	Jezerce	Golubinka	Boljkovac	Golubinka DHMZ
Izvori - B4	1	0,979	0,481	0,734	0,747	0,727
Izvori - B5	0,979	1	0,409	0,686	0,743	0,696
Jezerce	0,481	0,409	1	0,712	0,344	0,362
Golubinka	0,734	0,686	0,712	1	0,834	0,967
Boljkovac	0,747	0,743	0,344	0,834	1	0,807
Golubinka DHMZ	0,727	0,696	0,362	0,967	0,807	1

## 5.3. Analiza vodne bilance

### 5.3.1. Metodološke postavke

Za procjenu bilance dotoka na analiziranom TPV Bokanjac – Poličnik korišten je modelski pristup koji je primjeren raspoloživim klimatološkim i hidrološkim podlogama. Temelji se na podacima o bilanci efektivnih oborina koja se infiltrira u sliv, pri čemu se koriste podaci o oborinama i temperaturama u slivu. Pri ocjeni bilance tih efektivnih oborina na području hrvatskog krša najčešće se koriste empirijski modeli **TURCA (1954)** i **LANGBEINA (1962)**, a koji su modificirani i razvijeni za primjenu u GIS okruženju (**HORVAT & RUBINIĆ, 2006**). Radi se o modelima pomoću kojih je, na temelju prostorne procjene količine palih godišnjih oborina i prosječnih godišnjih temperatura zraka na analiziranom slivu, uz hidrogeološkim metodama određene granice TPV, moguće odrediti prostornu raspodjelu efektivne godišnje oborine, odnosno dio palih oborina koje se infiltriraju u krški vodonosnika ili površinski otječu.

Procjena vodne bilance na godišnjoj razini je osnova korištenog bilančnog modela. Pri tome su elementi vodne bilance definirani korištenjem dvaju modelskih pristupa: prvog zasnovanog na metodologiji predloženoj od strane **TURCA (1954)**, te drugog po **LANGBEINOVJOJ** metodologiji (**1962**). Turc-ova formula (1954) sadrži deficit otjecanja ( $D$ ) kao funkciju palih oborina ( $P$ ) i temperaturnog faktora ( $L$ ):

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (1)$$

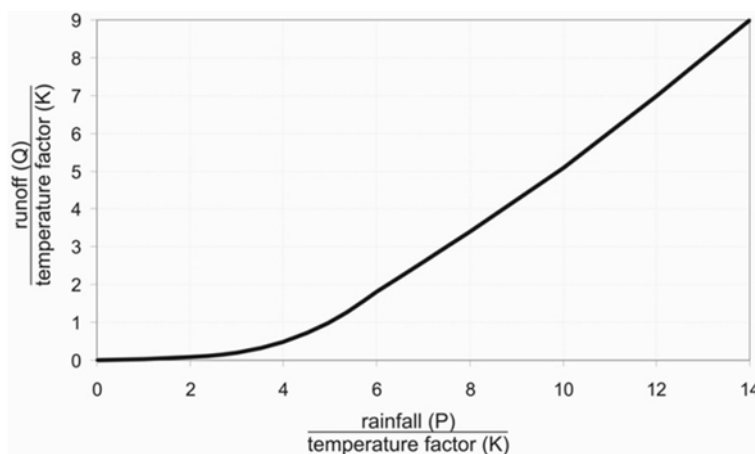
Temperaturni faktor ( $L$ ) je proračunat pomoću formule:

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (2)$$

gdje  $T$  predstavlja povećanje temperature zraka.

Kao što pokazuje **slika 5.3-1**, Langbein-ova metoda (1962) je zasnovana na međudnosu između faktora međudnosa oborina i temperatura ( $P/K$ ) i faktora odnosa otjecanja i temperatura ( $Q/K$ ), odnosno ona koristi oborine i temperature zraka kao ključne parametre za procjenu otjecanja. Temperatura zraka ( $T$ ) je ugrađena u formulu za temperaturni faktor ( $K$ ) koji se povećava eksponencijalno s porastom temperature:

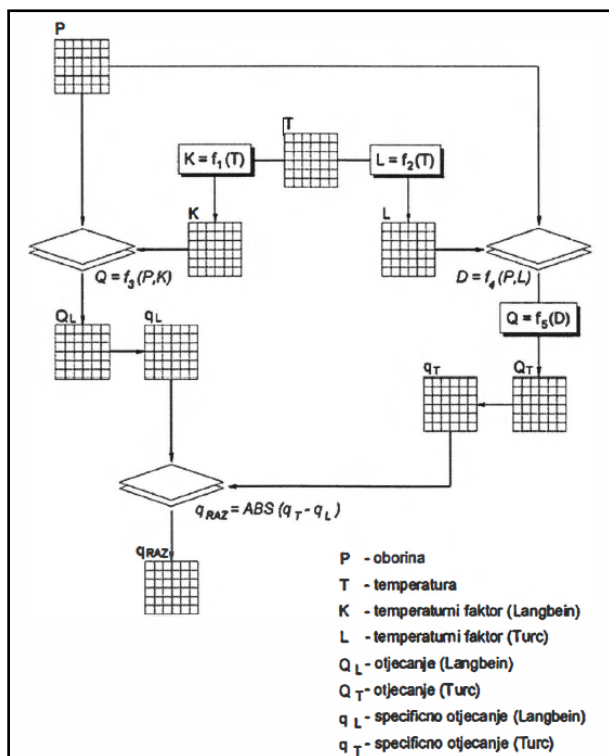
$$K = 10^{0.0278T + 0.886} \quad (3)$$



Slika 5.3-1. Langbeinova metoda – međudnos između  $P/K$  i  $Q/K$

Oba pristupa koriste prosječnu godišnju količina oborina i temperature zraka (često su to i jedini dostupni klimatološki podaci u hidrološkoj analizi otjecanja) kao prostorno promjenjive ulazne parametre. Geografski informacijski sustavi uvelike olakšava procjenu prostorne raspodjele i prostorne analize ulaznih parametara i rezultata.

Prva iteracija (Slika 5.3-2) u procjeni godišnjeg otjecanja počinje s razgraničenjem slivova, na temelju hidrogeoloških procjena, nakon čega slijedi procjena prostorne raspodjele meteoroloških parametara (oborina i temperature).

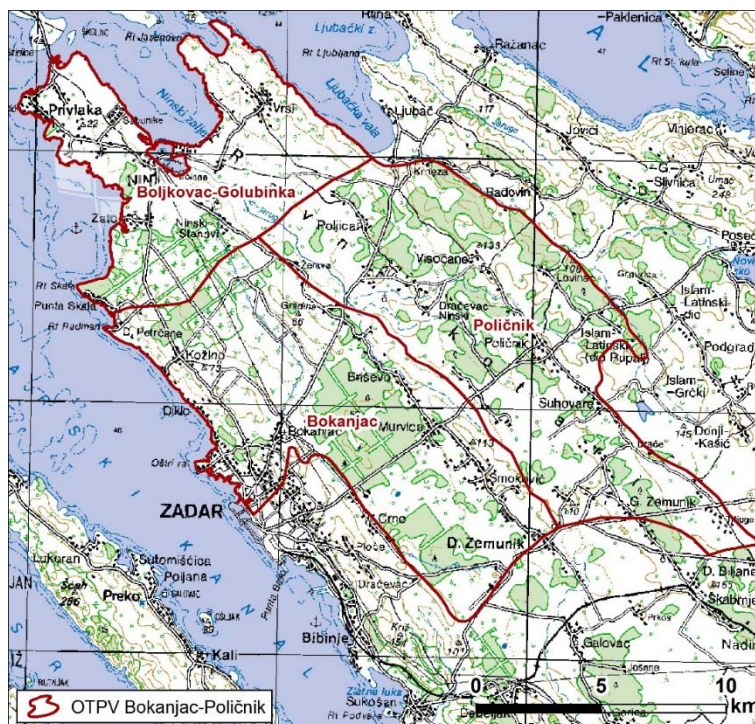


Slika 5.3-2. Shematski prikaz iterativnog postupka definiranja međuođnosna otjecanja i površine pripadajućeg sliva

Zatim se provodi procjena prostorne raspodjele prosječnog godišnjeg otjecanja, a što može biti napravljeno pomoću Turc-ove i Langbein-ove metode, kao i njihovom kombinacijom, odnosno osrednjavanjem prostornih rezultata obrada. Na temelju tih rezultata provode se usporedbe s mjerenim podacima u samom slivu ako se raspolože dovoljno dugim i kvalitetnim nizovima podataka – u protivnom koriste se iskustva sa sličnih slivova u regiji kod kojih su prethodno provedene takve usporedbe. Ako su razlike prihvatljive, odabrana metoda, odnosno njeni rezultati se mogu prihvatiti i ići u 3. korak, odnosno konačne procjene godišnjeg otjecanja.

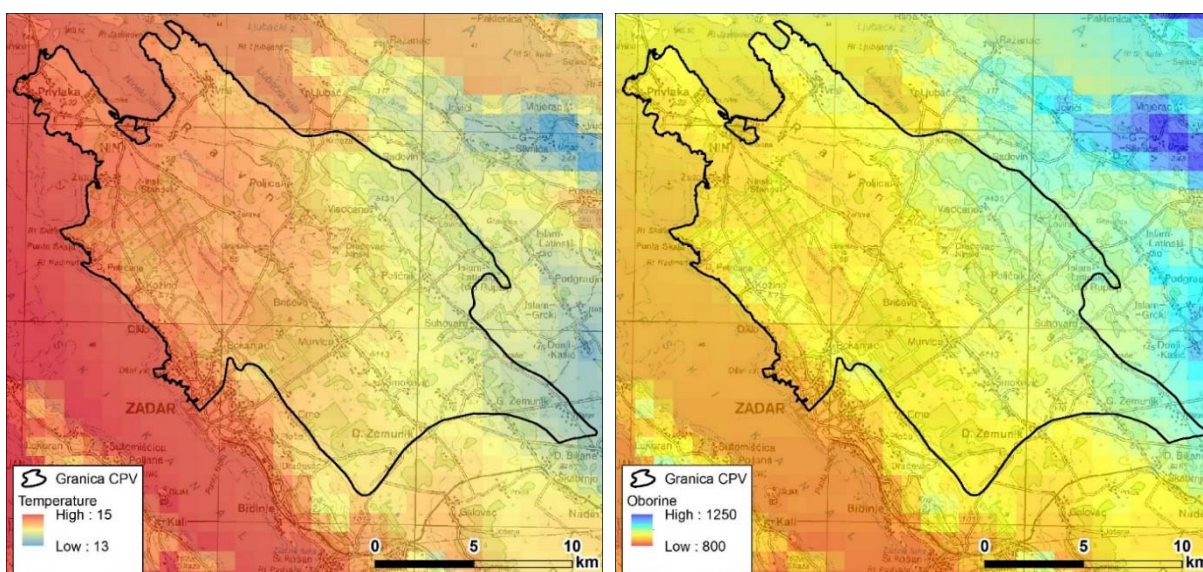
### 5.3.2. Procjena vodne bilance

Granice TPV Bokanjac – Poličnik prikazane su na **slici 5.3-3**, na kojoj je dana i detaljnija raščlamba na tri izdiferencirane jedinice. Raspoloživost adekvatnih podataka i podloga uvjetuje primjenu pojedinih metoda procjene otjecanja.



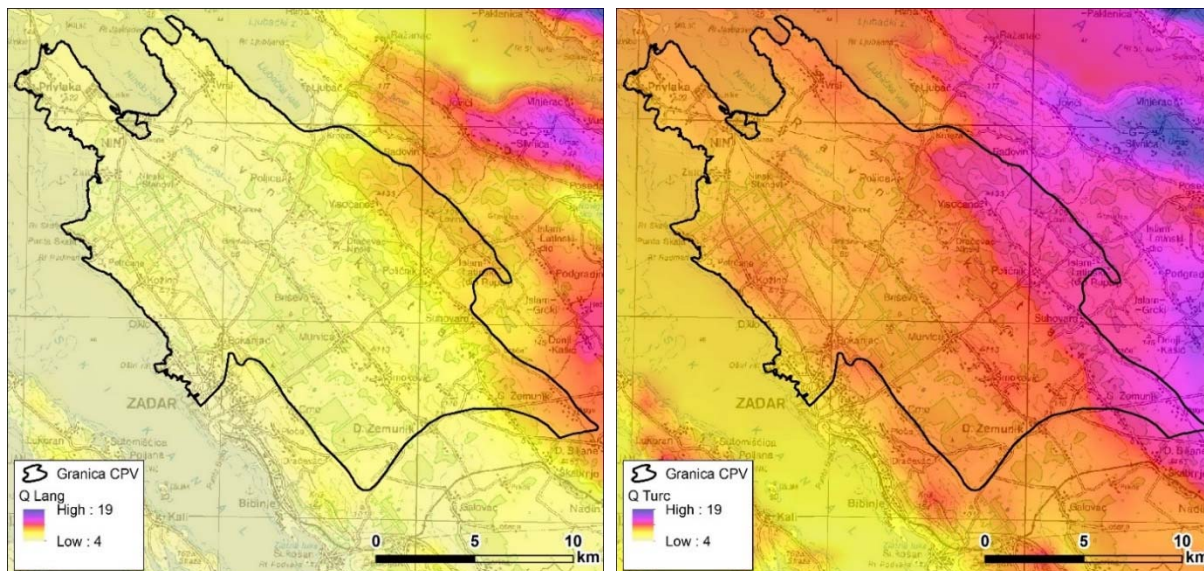
Slika 5.3-3. Situacijski prikaz granica TPV Bokanjac Poličnik i unutar nje izdvojenih slivnih jedinica

Klimatološki podaci (temperature zraka i količine oborina) korišteni u analizi slivova dostupni su u obliku prostorne raspodjele srednjih godišnjih vrijednosti za 30-godišnje vremensko razdoblje (1961.-1990.), u formi rastera prostorne rezolucije 1.000 m, koje su izradili stručnjaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (Slika 5.3-4).

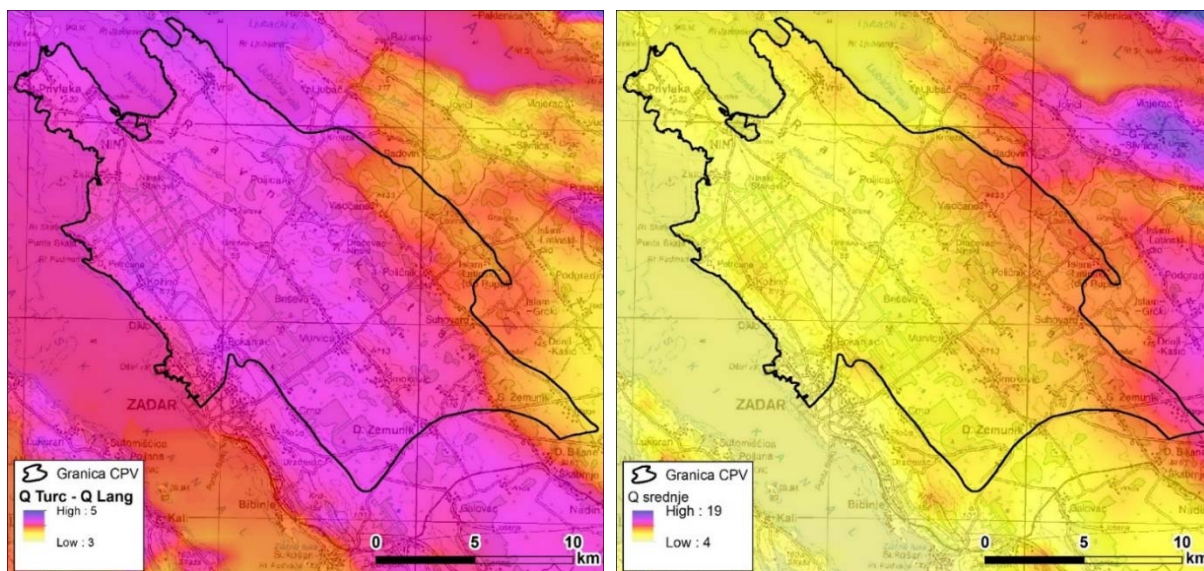


Slika 5.3-4. Prostorna raspodjela srednjih godišnjih temperatura zraka (lijevo) i srednjih godišnjih količina oborina (desno) (1961.-1990.) (prema DHMZ-u)

Na temelju tih prostornih klimatoloških podloga, sukladno danjoj metodologiji, definirane su karte prostornih raspodjeli specifičnog otjecanja po metodi Langbeina i metodi Turca (Slika 5.3-5), izračunata karta prostornih razlika u rezultatima dobivenim ovim metodama (Slika 5.3-6 lijevo) na analiziranim područjima, te dan prostorni prikaz proračunatih vrijednosti specifičnih protoka osrednjavanjem rezultata po metodama Turca i Langbeina (Slika 5.3-6 desno).



Slika 5.3-5. Prostorna raspodjela specifičnih protoka za razdoblje 1961.-1990. određena Langbeinovom metodom (lijevo) i metodom Turca (desno)



Slika 5.3-6. Razlika u rezultatima dobivenim po metodama Turca i Langbeina za razdoblje 1961.-1990. (lijevo) i prostorna raspodjela specifičnih protoka za razdoblje 1961.-1990. određena osrednjavanjem rezultata po metodama Langbeina i Turca (desno)

Na odabranim dijelovima utjecajnog sliva, prikazanim na spomenutim prikazima, procijenjeno je srednje godišnje specifično otjecanje po spomenutim metodama, a osnovni rezultati su dani u tablici 5.3-1 (prosječne temperature i oborine za pojedine slivne cjeline), kao i u tablici 5.3-2, gdje su dane vrijednosti specifičnih kao i ukupnih srednjih godišnjih protoka sa analiziranih slivova pojedinih izvora.

Tablica 5.3-1. Osnovni klimatološki elementi TPV Bokanjac - Poličnik (1961.-1990.)

Površina (km <sup>2</sup> )	Sr. god. temperatura zraka (°C)			God. količine oborina (mm)		
	Prosječna	Maks.	Min.	Prosječne	Maks.	Min.
301,72	14,3	14,9	13,4	960,2	1075,6	880,9

Tablica 5.3-2. Srednje godišnje vrijednosti protoka na temelju bilančnih procjena (1961.-1990.)

Specifične protoke (l/s/km <sup>2</sup> )			Ukupne protoke (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		
Po Langbeinu	Po Turcu	Osrednjeno Langbein i Turc	Po Langbeinu	Po Turcu	Osrednjeno Langbein i Turc
6,28	10,51	8,39	1,89	3,17	2,53

Općenito, vrijednosti specifičnih protoka dobivenih Langbeinovom metodom imaju niže vrijednosti od vrijednosti dobivenih metodom Turca. Vidljivo je da je na analiziranom području specifično otjecanje najviše na višim nadmorskim visinama gdje su i manje temperature, a u pravilu i veće oborine. Tu su ujedno i razlike u rezultatima dobivenim dvjema primijenjenim metodama najmanje (oko 3 l/s/km<sup>2</sup>), u odnosu na priobalni dio gdje se razlike u specifičnim protocima kreću do oko 5 l/s/km<sup>2</sup>. Na analiziranom TPV dostupni su podaci hidrološkog monitoringa samo na slivu vodotoka Miljašić jaruga.

Tu je, na najnižvodnijom hidrološkoj postaji Boljkovac koja hidrološki kontrolira površinsko otjecanje oko 123 km<sup>2</sup> sliva, utvrđeno da srednji godišnji protok za razdoblje 1986.-2018. iznosi 0,86 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, odnosno oko 7 l/s/km<sup>2</sup>. U stvarnosti to je i nešto više jer se površinskim otjecanjima treba pribrojiti i dio voda koji se zahvaća na izvorištima vodoopskrbe (ukupno oko 0,37 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Iz tih razloga rezultati dobiveni po metodi Langbeina mogu se smatrati podcijenjenim, te su prihvatljiviji rezultati bilanciranja po metodi osrednjavanja prostorne raspodjele specifičnih protoka po metodi Langbeina i Turca, čiji su rezultati prihvatljiviji za područja koja sežu dublje u zaleđe dalmatinske obale. Na taj način, za ukupnu površinu TPV Bokanjac – Poličnik, proizlazi da je srednji godišnji protok 2,53 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, iz čega, koristeći i podatak o srednjoj godišnjoj količini oborina koja padne na sliv analiziranog TPV, proizlazi da je srednji godišnji koeficijent otjecanja 0,25 što je regionalno prihvatljiva veličina. Rasčlanjeno po pojedinim jedinicama, na površinu slivne jedinice Poličnik otpada 1,12 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> srednjeg godišnjeg protoka, na Bokanjac 0,888 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, a na Boljkovac – Golubinka 0,532 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

Pri tome se za vodoopskrbu koristi oko 15% od ukupne vodne bilance, što je daleko najveći postotak korištenja voda u odnosu na sva ostala TPV koje se nalaze na krškom području Hrvatske (na području TPV Sjeverne Istre i TPV Južne Istre taj je postotak oko 4%, a kod ostalih i puno manje). Mogućnost korištenja vodne bilance u budućnosti, u uvjetima prisutnih klimatskih promjena i njihovog očekivanog intenziviranja, može postati još problematičnija u smislu mogućih pojava intenzivnijih i dugotrajnijih zaslanjenja, iz razloga što do sada provedene procjene utjecaja klimatskih promjena na izdašnosti izvorišta na prostoru TPV Bokanjac – Poličnik (LUKAČ REBERSKI et al., 2019) pokazuju da bi se ukupna raspoloživa vodna bilanca mogla smanjiti tijekom razdoblja (2021. - 2050.) za 8 -11% u odnosu na referentno povijesno 30-godišnje razdoblje (1961.-90.), a tijekom razdoblja 2071.-2100. za oko 32-39%, a na razini najmanjih srednjih mjesečnih protoka čak i više.

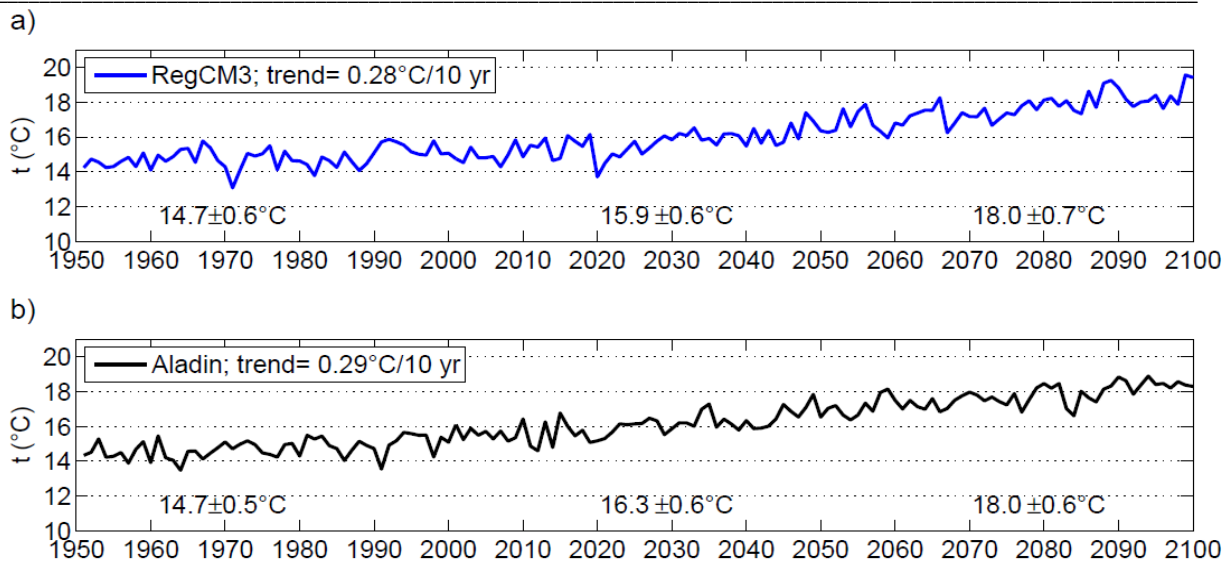


### **5.3.3. Procjena utjecaja klimatskih promjena na promjenu vodne bilance**

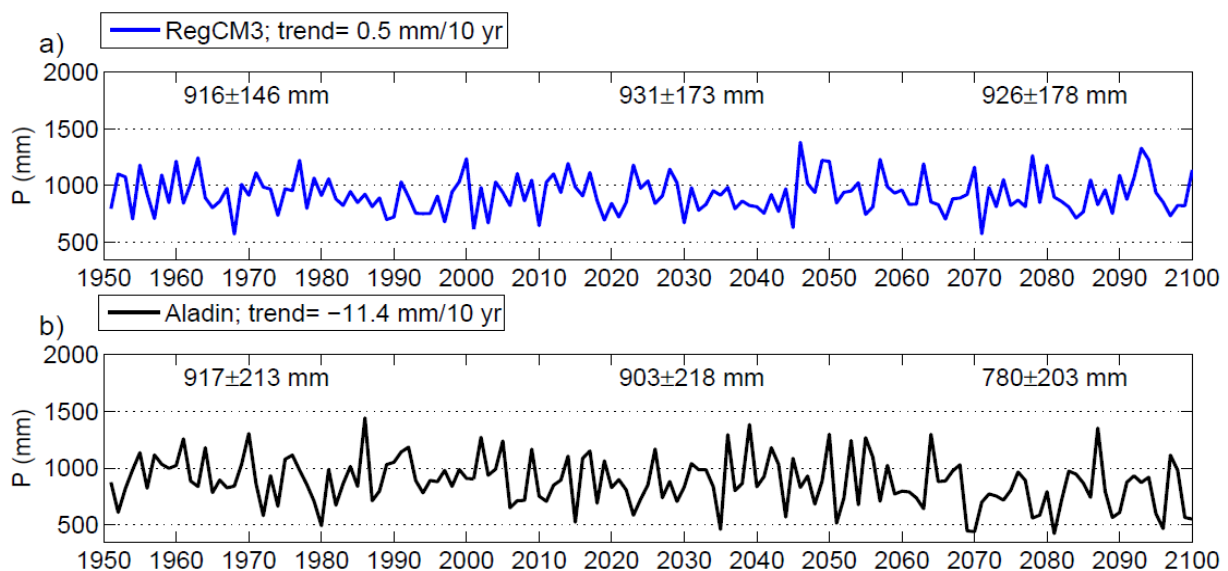
Problemi zaslanjivanja priobalnih krških vodonosnika ne javljaju se samo uslijed pojačavanja pritiska na priobalna područja i s sve intenzivnija korištenja priobalnih vodnih resursa za potrebe vodoopskrbe, navodnjavanja i korištenja tehnoloških voda, nego i uslijed utjecaja klimatskih promjena čije se manifestacije već zapažaju. Te se manifestacije ogledaju u općem trendu povećanja temperature zraka i s njim povezano povećanje razine mora uz istovremeno smanjenje količine oborina. To utječe i na smanjenje bilance otjecanja iz sliva, pri čemu su posebno ugroženi priobalni krški vodonosnici. Na značajnom dijelu mediteranskoga priobalnog područja upravo su zato prisutni problemi prodiranja zaslanjenih voda u dublje dijelove priobalnih krških vodonosnika (CUSTODIO & BRUGGEMAN, 1982; CUSTODIO, 2002; MEDITERRANEAN GROUNDWATER WORKING GROUP, 2007).

Procjena mogućih utjecaja klimatskih promjena na priobalne vodne resurse je tako postala tema niza EU projekata, pa tako i projekta CCWaterS ([http://www.southeast-europe.net/en/projects/approved\\_projects/?id=65](http://www.southeast-europe.net/en/projects/approved_projects/?id=65)), provođenog u razdoblju 2009.-2012. Radi se o jednom od prvih projekata u Hrvatskoj u kome se je provodila kvantifikacija mogućih utjecaja klimatskih promjena na smanjivanje raspoloživosti vodne bilance priobalnih vodonosnika. Pri tome je upravo analizirano područje TPV Bokanjac – Poličnik bilo jedno od odabrana tri pilot područja (RUBINIĆ et al., 2011a; RUBINIĆ 2014). Rezultati provedenih istraživanja na tom lokalitetu sadržani su u dokumentu RUBINIĆA et al. (2011b), a dijelom su i novelirani u radu LUKAČ-REBERSKI et al. (2019).

U okviru toga projekta, na temelju raspoloživoga niza mjerenih podataka s glavne klimatološke postaje Zadar od 1951. do 2009. godine provedena je procjena srednjih godišnjih temperatura zraka i oborina za razdoblje od 2010. do 2100. Pritom su odabrane procjene, odnosno generirane vremenske serije srednjih godišnjih temperatura zraka i godišnjih količina oborina dobivene na osnovi dva regionalna klimatska modela – REGCM3 (PAL et al., 2007) i Aladin (BUBNOVA et al, 1995). Glavna klimatološka postaja Zadar odabrana je zato što ima pouzdan i neprekidan niz prikupljenih podataka za cjelokupno analizirano razdoblje. Za dani je lokalitet provedena usporedba podataka vremenskih nizova dobivenih neposrednim mjerenjem i nizova iz klimatološke baze E-OBS te je obavljena dodatna prilagodba modela na lokalna mjerenja. Klimatske promjene definirane su kao razlika između buduće klime (razdoblje P1: 2021.-2050. i razdoblje P2: 2071.-2100.) i referentne sadašnje klime (razdoblje P0: 1961.-1990.). Rezultati oba modela ukazuju na porast temperature, dok trendovi količine oborina pokazuju znatno veću varijabilnost u smislu mogućega predznaka i iznosa promjene i to ovisno o modelu i sezoni (DHMZ, 2011). Na slikama 5.3-7 i 5.3-8 dan je skupni prikaz osmotrenih i generiranih nizova srednjih godišnjih temperatura zraka, kao i godišnjih količina oborina za postaju Zadar za razdoblje (1951.-2100.) Uz to, dan je i iskaz rezultirajućih trendova za takve vremenske nizove, kao i karakteristični pokazatelji – srednje vrijednosti i standardno odstupanje za odabrana karakteristična 30-godišnja razdoblja P0, P1 i P2. U tablici 5.3-3 dan je prikaz karakterističnih pokazatelja povijesnih i generiranih nizova podataka o oborinama i temperaturama zraka na analiziranom području, dobivenim prema klimatološkim modelima RegCM3 i Aladin za odabrana referentna 30-godišnja razdoblja.



Slika 5.3-7. Srednje godišnje temperature zraka za postaju Zadar - produjeno s modelom: a) RegCM3, b) Aladin, s ucrtanim vrijednostima prosječnog trenda kao i prosječnim vrijednostima i standardnim odstupanjima za tri referentna 30-godišnja razdoblja P0, P1 i P2 (GAJIĆ-ČAPKA et al., 2010)

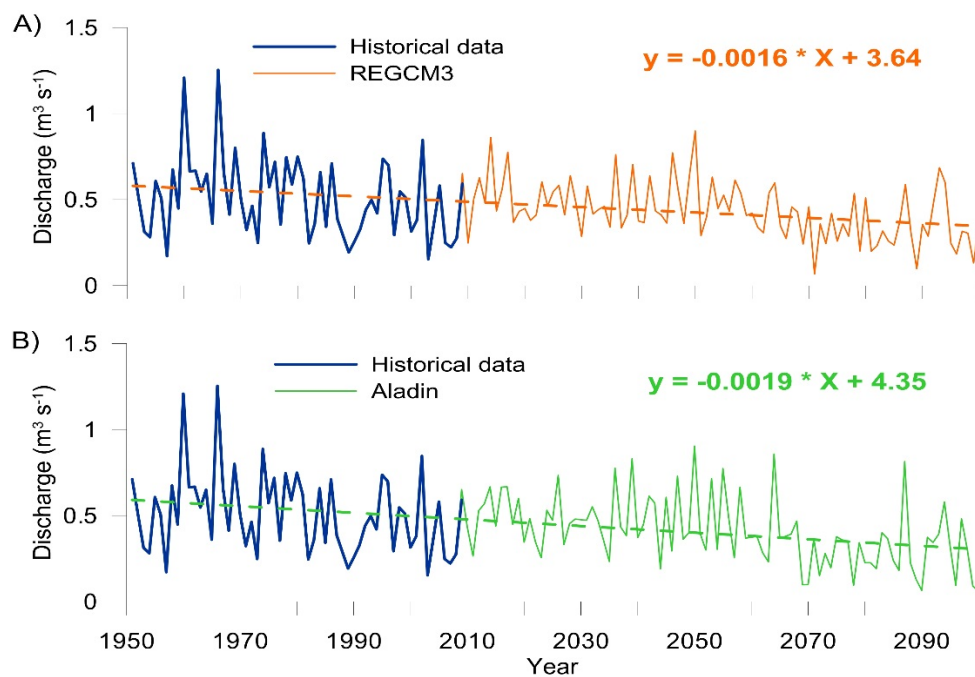


Slika 5.3-8. Godišnje količine oborina za postaju Zadar - produjeno s modelom: a) RegCM3, b) Aladin, s ucrtanim vrijednostima prosječnog trenda kao i prosječnim vrijednostima i standardnim odstupanjima za tri referentna razdoblja P0, P1 i P2 (GAJIĆ-ČAPKA et al., 2010)

Kao što je vidljivo prema danim prikazima (slike 5.3-7 i 5.3-8, te tablica 5.3-3), za očekivati je daljnje pogoršanje klimatskih prilika u smislu nastavka povećanja varijabilnosti pojava godišnjih količina oborina sa sve većim rasponima njihove pojave, pa i značajnijim sušnim razdobljima, kao i intenziviranja izrazitog trenda povećanja srednjih godišnjih temperatura zraka. To utječe na povećanje gubitaka na evapotranspiraciju i evaporaciju sa slobodnih vodnih površina, a time i na smanjenje efektivnih oborina, odnosno površinska otjecanja te količina infiltriranih voda u podzemlje. To je i dokazano provedenim modeliranjima srednje godišnje bilance dotoka tijekom povijesnog razdoblja i budućnosti. Na slici 5.3-9 dan je prikaz generiranih nizova najmanjih srednjih mjesečnih protoka, a u tablici 5.3-4 mogućih utjecaja klimatskih promjena na promjene elemenata vodne bilance izvorišta s analiziranog područja TPV Bokanjac – Poličnik.

Tablica 5.3-3. Prikaz osnovnih pokazatelja godišnjih količina oborina i temperatura zraka za postaju Zadar (1961.-2100.) na osnovu povijesne i generiranih nizova podataka po klimatskim modelima (prema DHMZ, 2010)

Model	Srednje godišnje oborine (mm)					Srednje godišnje temperature zraka (°C)				
	SR	St. dev.	Cv	MAX	MIN	SR	St. dev.	Cv	MAX	MIN
Povijesni niz 1961-1990										
Osmotreno	916.3	179.1	0.20	1433.9	610.5	14.7	0.30	0.02	15.2	14.1
Generirani nizovi										
1961-1990										
RegCM3	916.3	143.1	0.16	1245.6	572.4	14.7	0.55	0.04	15.8	13.1
Aladin	917.4	209.3	0.23	1442.6	491.5	14.7	0.47	0.03	15.5	13.5
2021-2050										
RegCM3	931.3	169.8	0.18	1381.3	630.2	15.9	0.62	0.04	17.4	14.5
Aladin	903.2	214.0	0.24	1386.6	459.0	16.3	0.55	0.03	17.8	15.3
2071-2100										
RegCM3	926.2	175.2	0.19	1328.8	574.4	18.0	0.69	0.04	19.6	16.7
Aladin	780.1	199.8	0.26	1352.2	423.3	18.0	0.57	0.03	18.9	16.6



Slika 5.3-3. Prikaz hoda najmanjih srednjih mjesečnih protoka na području TPV Bokanjac – Poličnik (LUKAČ REBERSKI et al., 2019)

Tablica 5.3-4. Prikaz osnovnih pokazatelja povijesnog niza podataka o sumarnim godišnjim i najmanjim mjesečnim protocima izvorišta na području TPV Bokanjac – Poličnik (RUBINIĆ et al., 2011b, LUKAČ-REBERSKI et al., 2019)

Model	Srednji godišnji protoci (%)					Najmanji srednji mjesečni protoci (%)				
	SR	St.dev.	Cv	MIN	MAX	SR	St.dev.	Cv	MIN	MAX
Povijesno razdoblje 1961. - 1990. ( $Q/m^3s^{-1}$ )										
	1.766	0.821	0.46	0.579	4.321	0.541	0.235	0.43	0.193	1.254
2021. – 2050.										
RegCM3	-8.1	-35.7	-28.3	52.2	-30.0	-7.2	-35.3	-30.2	47.7	-28.3
Aladin	-11.2	-25.8	-15.2	-0.9	-29.6	-10.2	-25.1	-16.3	-1.0	-27.9
2071. – 2100.										
RegCM3	-32.0	-46.8	-21.7	-24.2	-47.9	-39.6	-36.6	7.0	-65.3	-45.4
Aladin	-38.5	-41.9	-4.3	-26.1	-39.2	-46.8	-30.6	32.6	-67.4	-35.1

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da se tijekom predstojećeg 30-godišnjeg razdoblja 2021.-2050. očekuje smanjenje srednjih godišnjih dotoka, kao i najmanjih srednjih mjesečnih protoka, ovisno o modelu, za oko 7-12%, a na kraju 21. stoljeća još i značajnije promjene - smanjenje srednjih godišnjih protoka za oko 32-39%, a najmanjih srednjih mjesečnih protoka još i naglašenije – između 40 i 47%. Ekstremne vrijednosti najmanjih srednjih mjesečnih protoka bi se mogle smanjiti čak i preko 65% u odnosu na zabilježene vrijednosti tijekom referentnog povijesnog 30-godišnjeg razdoblja 1961.-90. Takve projekcije nesumnjivo ukazuju na moguće intenziviranje problema pojačanog zaslanjivanja dijela većeg dijela vodozahvata na TPV Bokanjac – Poličnik.

No, osim smanjivanja dotoka, na porast rizika od povećanih zaslanjivanja priobalnih izvora i vodonosnika utječe i porast razine mora, koji je evidentan već na postojećoj vremenskoj skali, a do kraja 21. stoljeća očekuje se i njegovo intenziviranje. Prema recentnom, 7. nacionalnom i trećem dvogodišnjem izvješću RH prema okvirnoj konvenciji UN o promjeni klime (MZOIE, 2018), očekivani okvirni porast srednje razine mora na području istočne obale Jadranskog mora, na temelju kojeg su i planirane mjere zaštite je u rasponu između 32 i 65 cm. Takav brzi porast razine mora može značajno povećati otvorenost komunikacijskih puteva između mora i priobalnih krških vodonosnika iz razloga što se isti ne mogu u tako relativno kratko vrijeme dijelom adaptirati na te promjene, odnosno zaštititi od njih pojačanom sedimentacijom u takvim otvorenijim okršenim dijelovima vodonosnika koji dolaze pod utjecaj povećanog uspora mora.

## 6. Hidrogeološka analiza

Na području TPV Bokanjac-Poličnik nalazi se pet vodocrpilišta: Bokanjac, Jezerce, Boljkovac, Oko i izvor Golubinka. Boljkovac i Golubinka nalaze se vrlo blizu mora (Boljkovac) ili na samoj obali (Golubinka) te je utjecaj zaslanjenja na ove vodne objekte znatan i događa se svake godine, pa čak i više puta godišnje. Na crpilištu Jezerce utjecaj je znatno manji, ali je tijekom ljetnih izrazito sušnih razdoblja u kombinaciji sa povećanom količinom crpljenja znalo dolaziti do povećanja saliniteta na crpljenoj vodi. Bokanjac je još udaljeniji od mora, pa je na njemu i intenzitet zaslanjenja manji nego na Jezercu dok se vodocrpilište Oko nalazi u drugom dijelu sliva i najudaljenije je od mora. Na crpilištu Oko nisu zabilježene povećane koncentracije klorida.

Hidrogeološka analiza TPV Bokanjac-Poličnik je usmjerena na vodne objekte uključene u sustav operativnog monitoringa, odnosno na dio TPV Bokanjac-Poličnik od područja Bokanjca do priobalne zone na širem području grada Nina. Na tom se području nalaze crpilišta Bokanjac, Jezerce i Boljkovac. Za potrebe određivanja mehanizma zaslanjenja ovog priobalnog vodonosnika postavljen je operativni monitoring i praćeno je stanje podzemnih voda u razdoblju od prosinca 2017. godine do kraja listopada 2019. godine. Za analizu su korišteni i podaci dobiveni od Vodovoda Zadar (količina crpljenja, koncentracije klorida i sulfata u podzemnim vodama, razina vode u zdencima) te DHMZ-a (količine oborina, razina mora).

Hidrogeološka analiza je podijeljena u nekoliko zasebnih analiza: analiza monitoringa podzemnih voda, analiza kvalitete podzemne vode, analiza međudnosa površinskih i podzemnih voda i analiza odnosa razine podzemnih voda i razine mora.

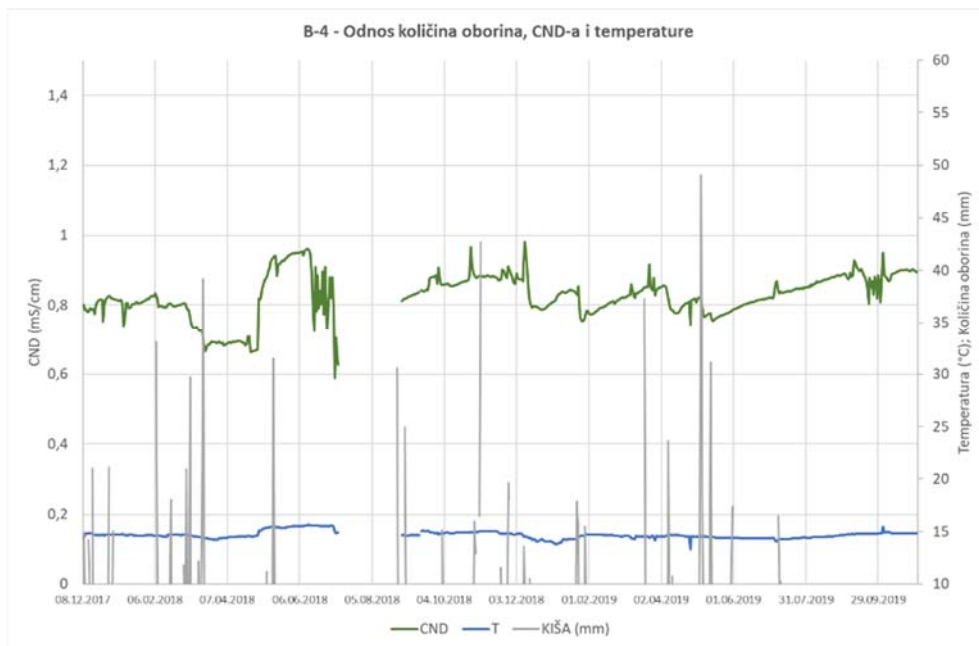
### 6.1. Analiza operativnog monitoringa podzemnih voda

Operativni monitoring podzemnih voda organiziran je na području tri crpilišta unutar hidrogeološke jedinice Bokanjac-Poličnik i usmjeren na detekciju mehanizama zaslanjenja, odnosno identifikaciju zone miješanja slatke i slane vode u krškom podzemlju. Na svakom od područja izvedena je duboka piezometarska bušotina do dubine od 60 metara ispod srednje razine mora i u njih su postavljeni automatski mjerači na različitim dubinama, ali na način da prate ponašanje vodonosnika po dubini. Također, i u svaki od vodoopskrbnih zdenaca na crpilištima postavljeni su automatski mjerači.

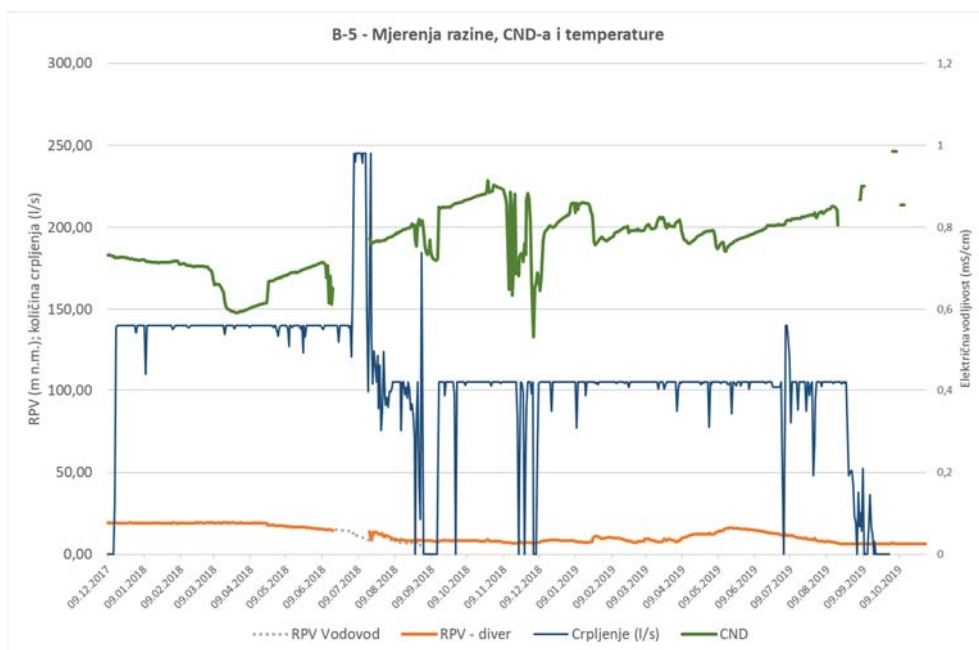
**Vodocrpilište Bokanjac** se nalazi najuzvodnije u slivu, odnosno najudaljenije je od mora te je na njemu očekivan najmanji utjecaj mora ili zaslanjene vode. U sustav monitoringa bila su uključena dva zdenca (B-4 i B-5) te je na samom početku provedbe operativnog monitoringa izvedena piezometarska bušotina BOK-1 ukupne dubine 85 metara, koja je uključena u operativni monitoring po završetku izgradnje. S obzirom da se područje Bokanjca nalazi na oko 20 m n.m. piezometarskom bušotinom BOK-1 omogućeno je praćenje dinamike vodonosnika do dubine od 65 metara ispod srednje razine mora. Tijekom izvođenja projekta izvedena je još jedna piezometarska bušotina BOK-2 koja je po završetku izgradnje uključena u sustav operativnog monitoringa. U obje bušotine su automatski mjerači postavljeni na dubinama od 10, 30, 40, 50 i 60 metara ispod srednje razine mora.

Na zdencu B-4 temperatura vode se u razdoblju od prosinca 2017. do listopada 2019. godine kretala u rasponu od 13,3 do 15,6 °C dok je vrijednost električne vodljivosti bila u rasponu od 0,666 do 0,982 mS/cm. Vrijednosti temperature vode i električne vodljivosti su tijekom trajanja operativnog monitoringa varirali u ovisnosti o količinama oborina i vodnosti razdoblja. Tijekom ljetnih sušnih

razdoblja, u uvjetima bez dugotrajnih većih oborina, zabilježen je rast vrijednosti električne vodljivosti i blag porast temperature vode što je vidljivo na slici 6.1-1. To je najviše izraženo u razdoblju od 15. svibnja do 15. rujna 2019. godine. Jače oborine uzrokuju pad vrijednosti električne vodljivosti i temperature povećanim dotokom slatke vode u vodonosnik što je to zabilježeno 18. ožujka 2018. godine kada je u mjesec dana palo oko 280 mm kiše, a samo 18. ožujka 2018. godine 39,2 mm kiše. U tom je razdoblju vrijednost električne vodljivosti pala sa 0,825 na 0,660 mS/cm. Slična je pojava zabilježena i 5. svibnja 2019. godine kada je nakon 49 mm kiše električna vodljivost pala sa 0,820 na 0,762 mS/cm. Obzirom da je nakon toga nastupilo duže sušno razdoblje, odnosno nisu zabilježene veće količine oborina, vrijednost električne vodljivosti je rasla sve do 10. rujna 2019. godine do vrijednosti od 0,923 mS/cm (Slika 6.1-1).



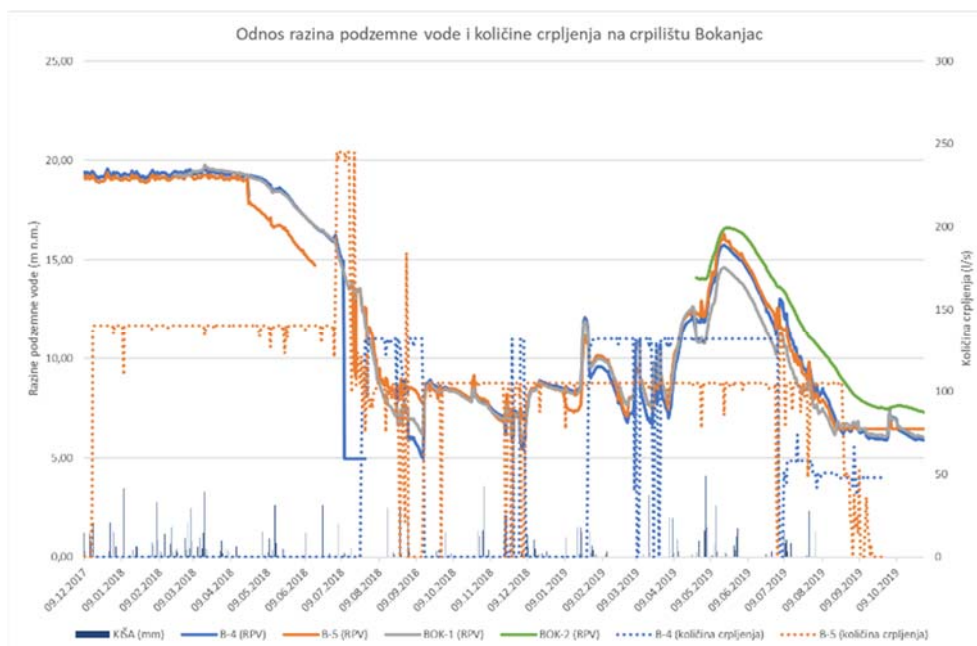
Slika 6.1-1. Odnos količine oborina na postaji Zadar te električne vodljivosti i temperature u zdencu B-4



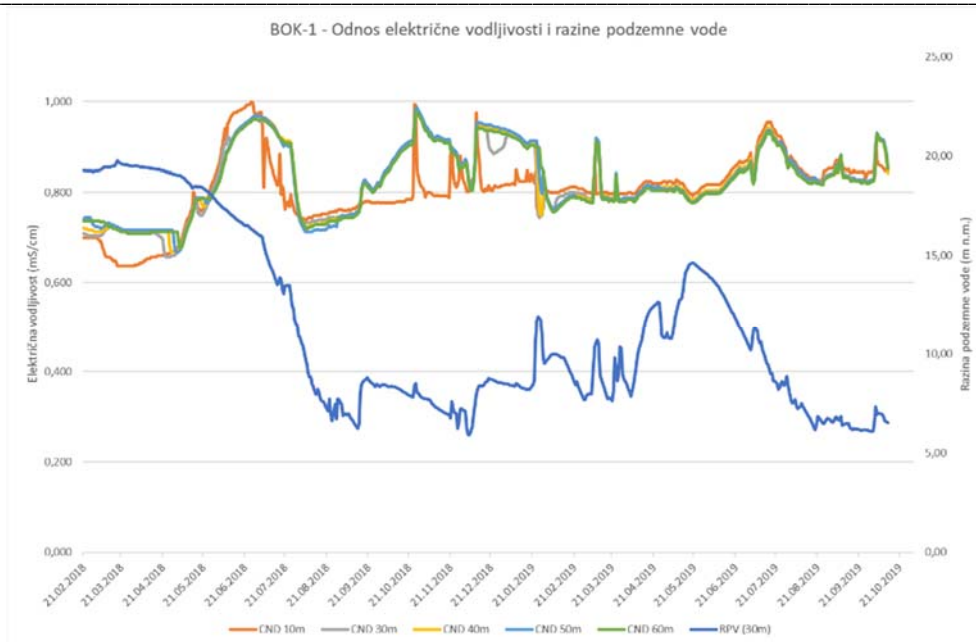
Slika 6.1-2. Odnos količine oborina na postaji Zadar te električne vodljivosti i temperature u zdencu B-5

Slična je situacija zabilježena i na zdcu B-5 gdje se vrijednost električne vodljivosti kretala u rasponu od oko 0,590 do 0,985 mS/cm (*Slika 6.1-2*). U razdoblju od 19. kolovoza 2019. do kraja operativnog monitoringa 31. listopada 2019. godine razina vode u zdcu B-5 je bila jako snižena i povremeno je automatski mjerač, koji je bio smješten na samom dnu zdenca, bio ostajao na suhom. Upravo u tom razdoblju izmjerena je maksimalna vrijednost električne vodljivosti (3. listopada 2019.).

Razina vode u zdcima B-4 i B-5, kao i na bušotini BOK-1 se kretala oko 19,4 m n.m. od početka opažanja pa sve do početka lipnja 2018. godine kada se je počela snižavati (*Slika 6.1-3*). Kroz cijelo to razdoblje crpljeno je sa 140 l/s na zdcu B-5. Početkom sušnog razdoblja u lipnju 2018. razina je počela padati na zdcu B-4 i bušotini BOK-1 gotovo ujednačeno. Na zdcu B-5 je krajem travnja 2018. zabilježeno sniženje od 1,3 metra koje se tumači kao rezultat crpljenja na zdcu B-5 i smanjenih količina oborina. Na zdcu B-5 crpljenje je povećano 5. srpnja 2018. na 245 l/s što je uzrokovalo presušivanje zdenca B-4 i velike varijacije razina na zdcu B-5. Smanjenjem količine crpljenja u B-5 sa 245 l/s na 100 l/s došlo je do pojave vode u zdcu B-4. S ponovnom pojavom vode u zdcu B-4 započeto je s crpljenjem u zdcu B-4 sa 130 l/s dok je istovremeno crpljenje na zdcu B-5 smanjeno na 105 l/s. U takvim uvjetima opet je došlo do sniženja razine u zdcima te je prekinuto crpljenje na zdcu B-4. Tada su se razine ustalile na oko 7,5 m n.m. i varirale ovisno o količinama oborina i dotocima podzemne vode iz zaleđa. Ta se je razina, uz varijacije, zadržala sve do početka svibnja 2019. godine kada je zbog intenzivnijih oborina razina podzemnih voda porasla do oko 16 m n.m. Tada je opet nastupilo duže sušno razdoblje te je do kraja razdoblja opažanja bilježen stalni pad razine do oko 6 m n.m. (*Slika 6.1-3*). U operativni monitoring je 27. travnja 2019. godine uključena i bušotina BOK-2 na kojoj su razine podzemne vode pratile promjene razina na crpilištu Bokanjac.

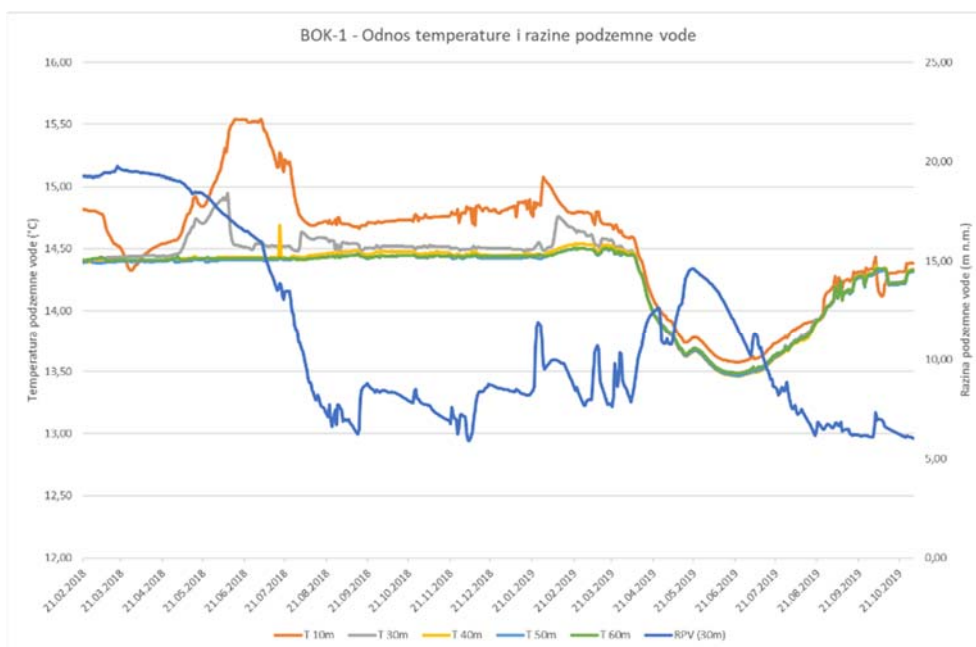


*Slika 6.1-3. Odnos razine vode, električne vodljivosti i temperature u zdcu B-4*



Slika 6.1-4. Odnos električne vodljivosti i razine podzemne vode u bušotini BOK-1

Piezometarska bušotina BOK-1 uključena je u operativni monitoring 21. veljače 2018. godine po završetku njene izgradnje. Po dubini vodonosnika mjerena je električna vodljivost i temperatura te je mjerena razina podzemnih voda. Vrijednost električne vodljivosti se je kretala u rasponu od 0,650 do 1 mS/cm i to od dubine od 30 metara ispod srednje razine mora do dna bušotine vodonosnik je imao jednake vrijednosti električne vodljivosti dok je jedino najbliža zona vodonosnika malo više reagirala na oborine pale u slivu (Slika 6.1-4).



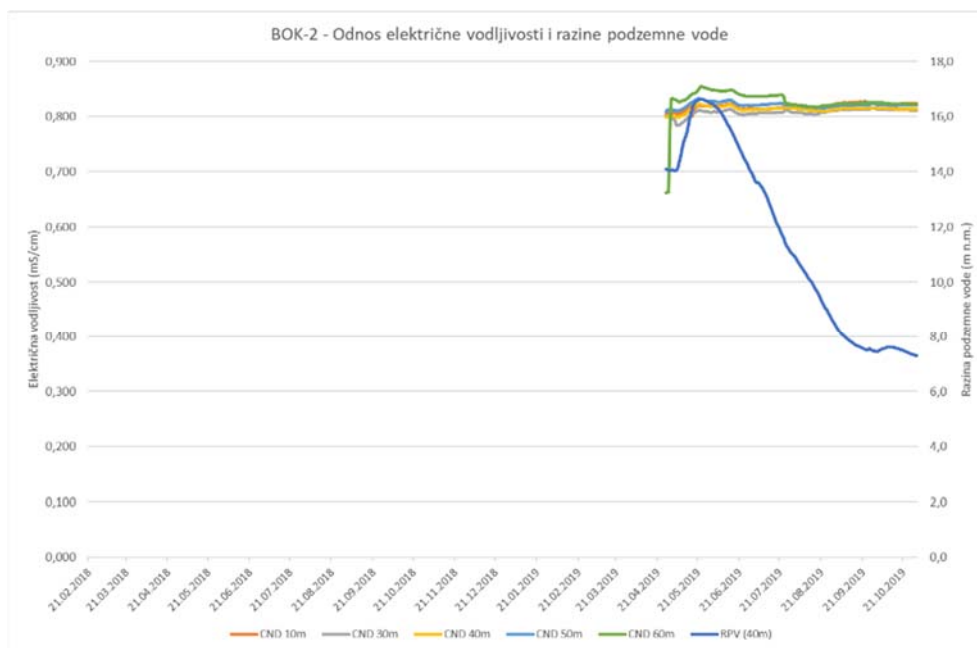
Slika 6.1-5. Odnos temperature i razine podzemne vode u bušotini BOK-1

Slična je situacija i sa vrijednostima temperature po dubini vodonosnika. Nakon 30 metara ispod srednje razine mora nema izražene stratifikacije temperature već je gotovo jednaka na svim dubinama do dna bušotine. U razdoblju od početka provođenja monitoringa do početka travnja 2019. godine

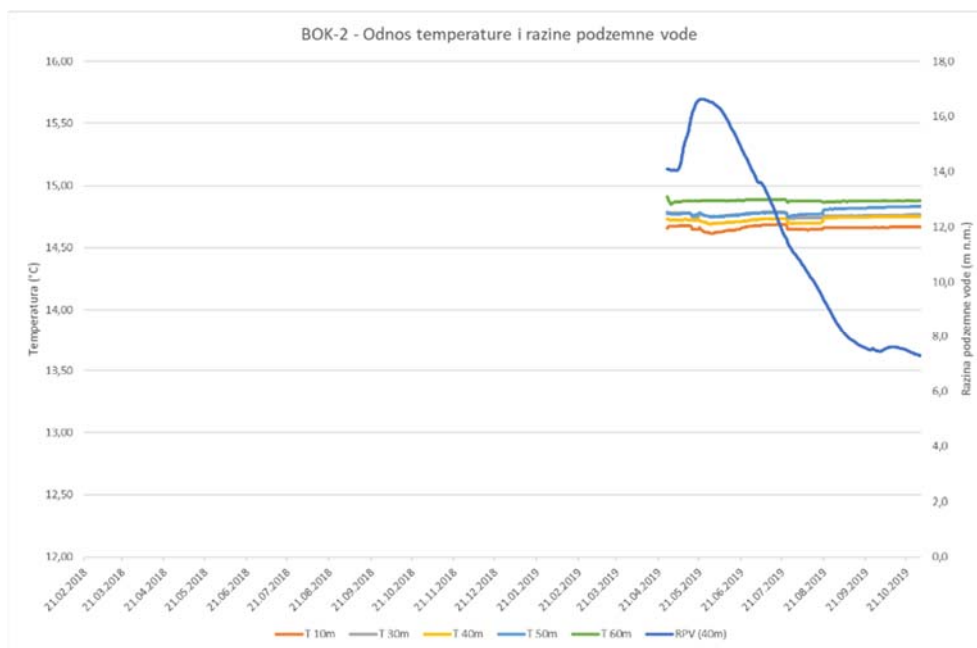


temperatura je bila ustaljena na oko 14,5 °C. Tada je s porastom razine vode započeo pad temperature do 13,5 °C (22. travnja 2019.). Početkom sušnog razdoblja i sniženja razine podzemne vode temperatura je po dubini bušotine porasla do 14 °C po cijeloj dubini vodonosnika (Slika 6.1-5).

Na bušotini BOK-2 vrijednost električne vodljivosti po cijeloj dubini vodonosnika bila je ustaljena kroz cijelo vrijeme monitoringa i iznosila je oko 0,820 mS/cm (Slika 6.1-6). Obzirom da se nalazi oko 1,5 km udaljena od zdenaca B-4 i B-5 crpilišta Bokanjac, ali i 1,4 km udaljena od crpilišta Jezerce može se ustanoviti da se nalazi izvan zone utjecaja ova dva crpilišta.



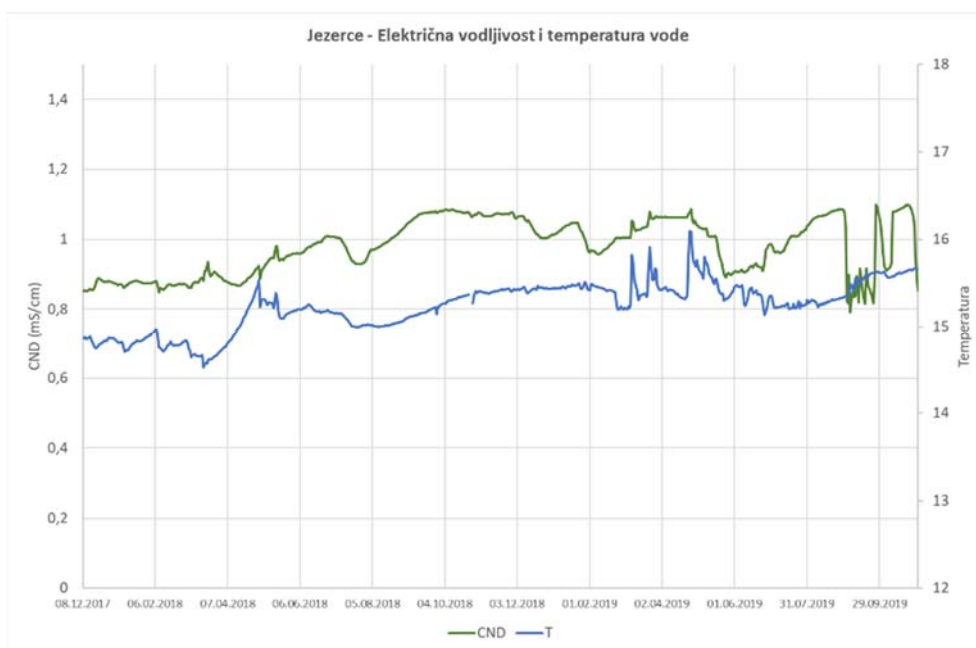
Slika 6.1-6. Odnos električne vodljivosti i razine podzemne vode u bušotini BOK-2



Slika 6.1-7. Odnos temperature i razine podzemne vode u bušotini BOK-2

Vrijednosti temperature na bušotini BOK-2 bile su ustaljene kroz cijelo vrijeme monitoringa. I kretale su se od 14,7 do 14,9 °C. Najniža temperatura je izmjerena na 10 metara ispod srednje razine mora te je porastom dubine temperatura podzemne vode blago rasla (Slika 6.1-7).

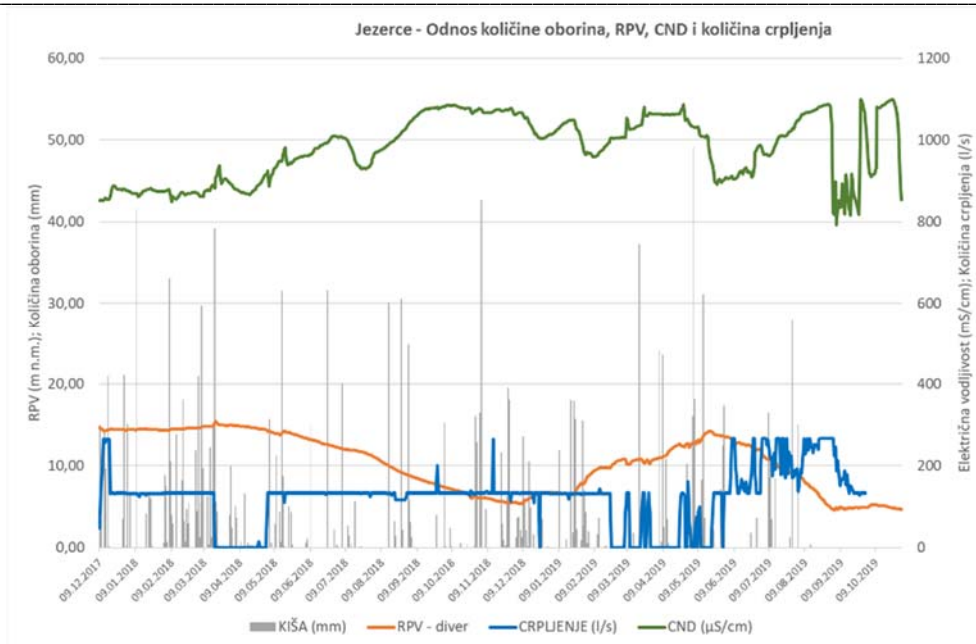
Na **vodocrpilištu Jezerce** temperatura vode se u razdoblju od prosinca 2017. do listopada 2019. godine kretala u rasponu od 14,5 do 16,1 °C dok je vrijednost električne vodljivosti bila u rasponu od 0,850 do 1,084 mS/cm. To su nešto veće vrijednosti u odnosu na crpilište Bokanjac što se tumači većom blizinom mora i većem utjecaju zaslanjenja nego na crpilištu Bokanjac. Sam porast vrijednosti električne vodljivosti obično je pratilo i povećanje temperature vode (Slika 6.1-8).



Slika 6.1-8. Odnos temperature i električne vodljivosti na zdencu Jezerce

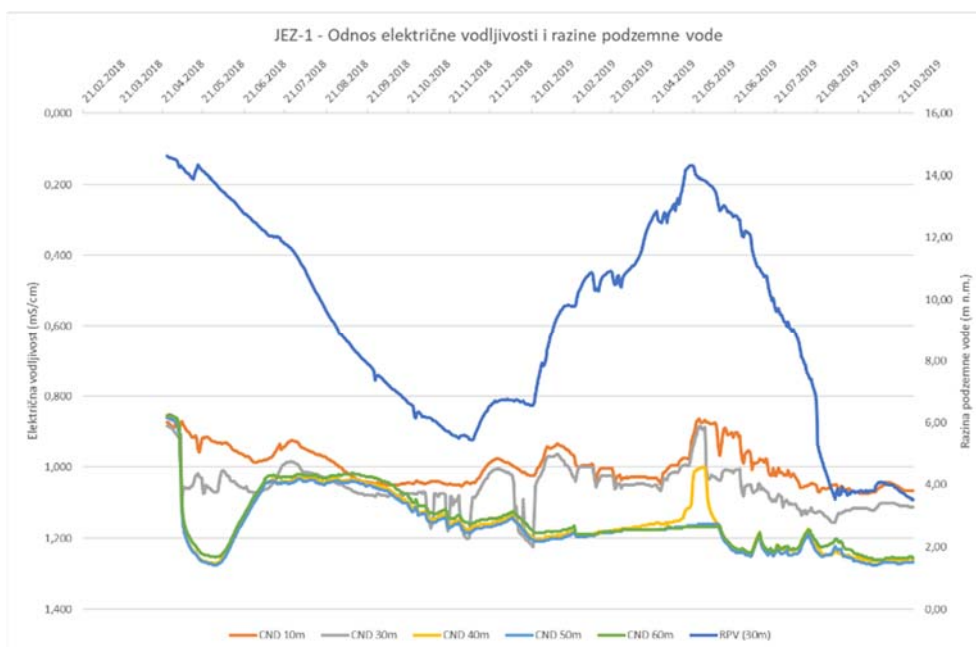
Razina podzemne vode u zdencu vodocrpilišta Jezerce bila je početkom provođenja operativnog monitoringa na oko 14,5 m n.m. te je početkom sušnijeg razdoblja počela padati. U tom je razdoblju crpilište radilo sa crpljenjem od 134 l/s. Tek u veljači 2019. godine dolazi do ponovnog porasta razine podzemne vode nakon kišnog razdoblja, ali i povremenog prestanka crpljenja. Do lipnja 2019. razina je rasla sve do 14,4 m n.m. kada je crpljenje pojačano na 266 l/s što je uzrokovalo pad razine podzemne vode za oko 10 metara (Slika 6.1-9).

Vrijednost električne vodljivosti u ovisnosti je od količina oborina i količine crpljenja. Nakon jakih oborina, ali i smanjenja količina crpljenja dolazi do sniženja vrijednosti električne vodljivosti. Također, duža sušnja razdoblja, kao i povećane količine crpljenja uzrokuju povećanja vrijednosti električne sustava. Sniženje vrijednosti električne vodljivosti je zabilježeno nakon jakih oborina 4.-6. svibnja 2019. godine kada je ukupno u tri dana palo 83,3 mm kiše. Tada je vrijednost električne vodljivosti snižena sa 1077 na 897  $\mu\text{S/cm}$ . Povećavanje količina crpljenja sa 132 na 266 l/s opet je došlo do povećanja vrijednosti električne vodljivosti na 1085  $\mu\text{S/cm}$ . Nakon toga automatski mjerač zbog vrlo niske razine podzemne vode povremeno ostaje na suhom što je uzrok varijacije električne vodljivosti u rujnu i listopadu 2019 godine (Slika 6.1-9).



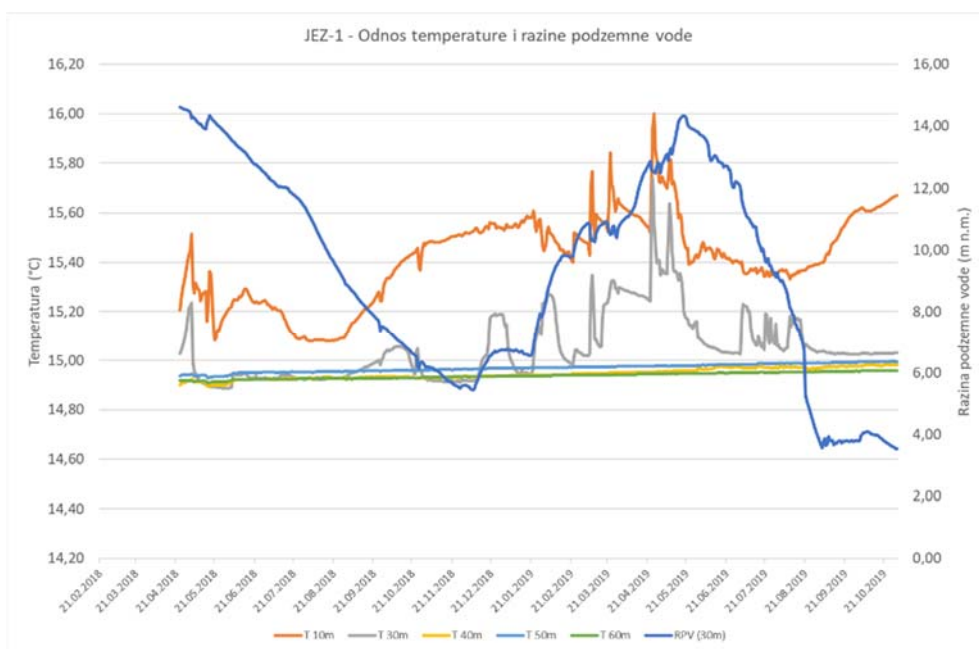
Slika 6.1-9. Odnos količine oborina, crpljenja, temperature i električne vodljivosti na zdencu Jezerce

Na piezometarskoj bušotini JEZ-1 mjerena je vrijednost električne vodljivosti i temperature po dubini vodonosnika. Električna vodljivost ukazuje na dvije zone vodonosnika, pliću do dubine od 30 m ispod srednje razine mora gdje su vrijednosti električne vodljivosti nešto niže i dublju koja ima nešto više vrijednosti električne vodljivosti (Slika 6.1-10) i reagira gotovo ujednačeno. Tu možemo razlikovati pliću zonu koja bolje reagira na količine oborina i crpljenja na zdencu Jezerce i dublju koja se nalazi bliže zoni miješanja slatke i slane vode.

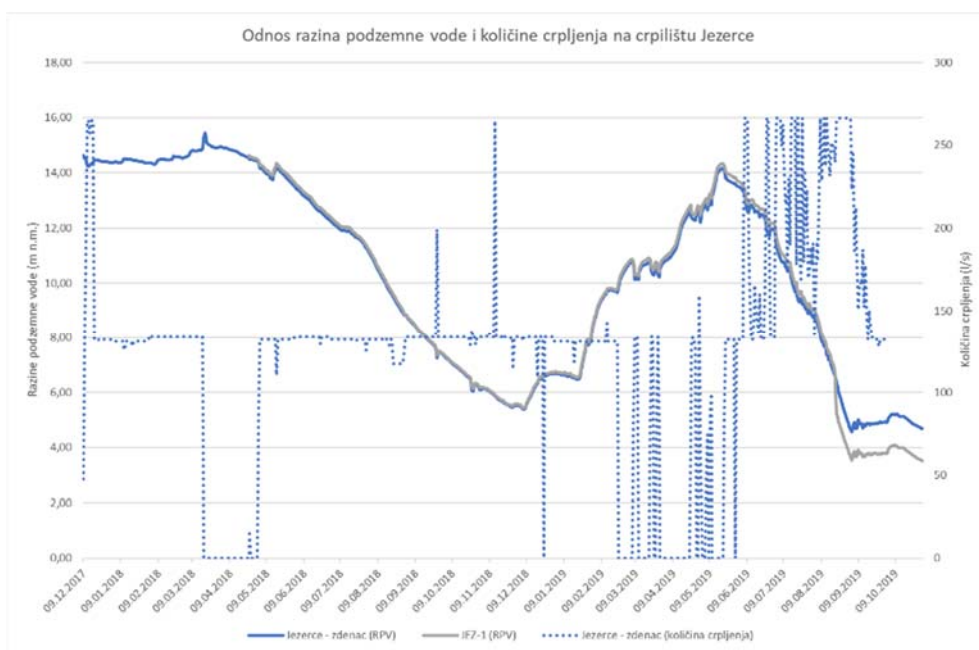


Slika 6.1-10. Odnos razine podzemne vode i električne vodljivosti po dubini bušotine JEZ-1

Takva je situacija i sa temperaturom po dubini vodonosnika gdje je u plićoj pripovršinskoj zoni zabilježena veća varijacija temperature vode, dok je u dubljem dijelu vodonosnika temperatura gotovo konstantna i iznosi nešto manje od 15 °C (Slika 6.1-11).

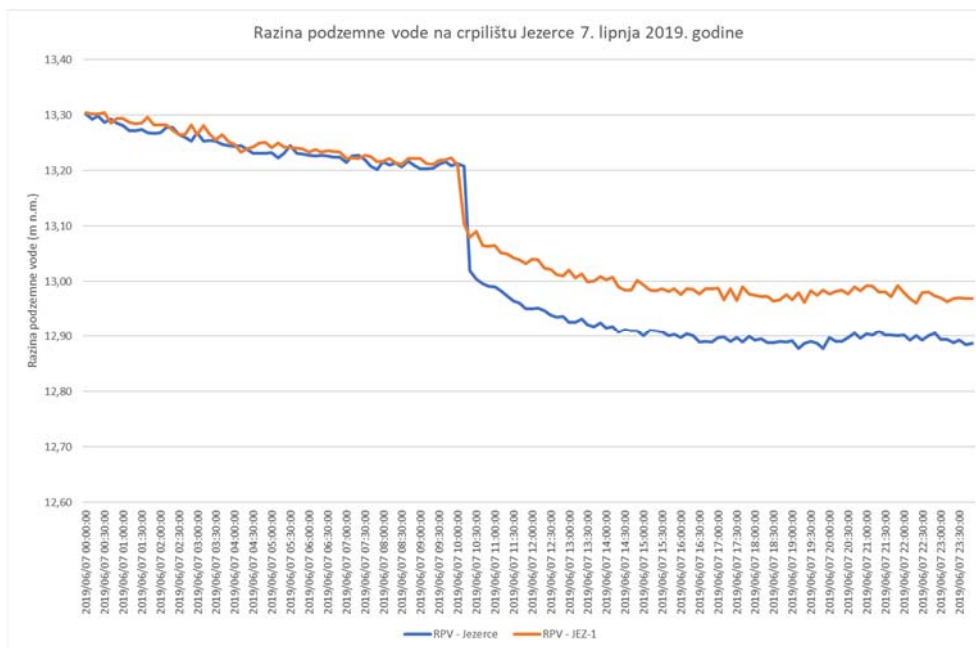


Slika 6.1-11. Odnos razine podzemne vode i temperature po dubini bušotine JEZ-1

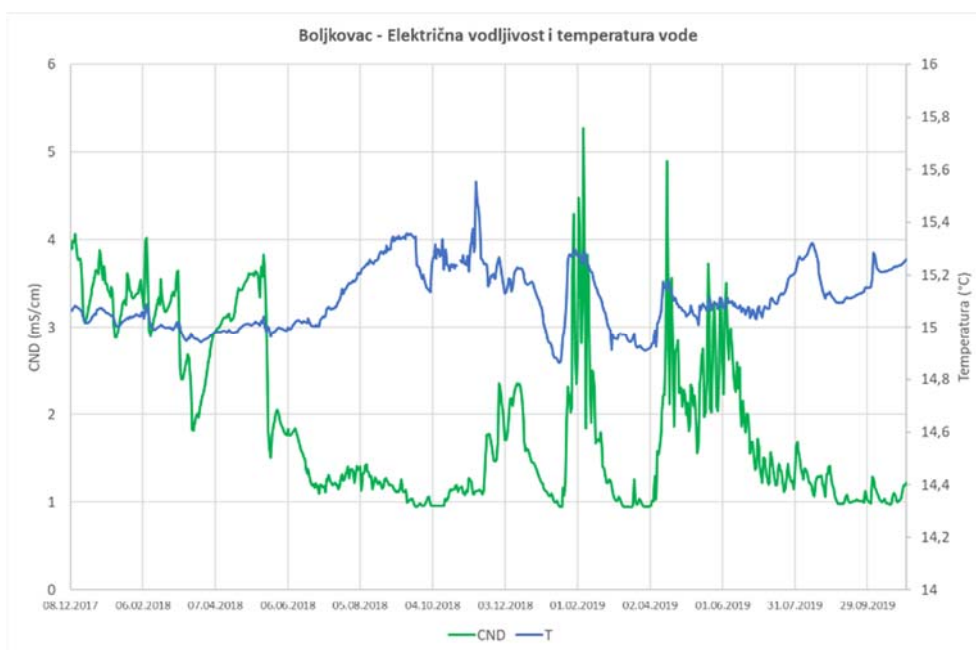


Slika 6.1-12. Odnos razine podzemne vode i količine crpljenja na crpilištu Jezerce

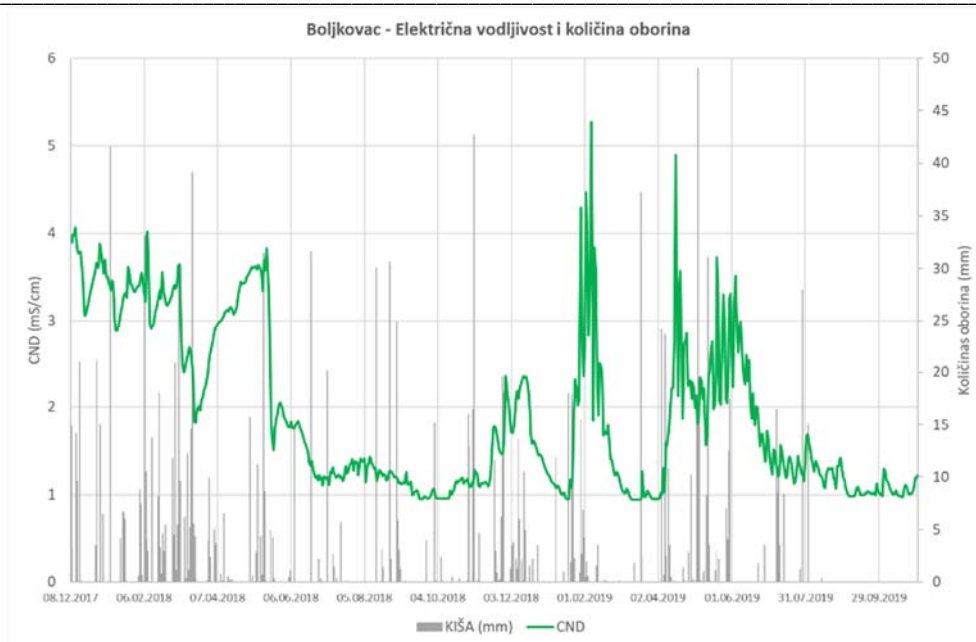
Razine podzemne vode na zdencu vodocrpilišta Jezerce i u piezometarskoj bušotini JEZ-1 gotovo su identične što se moglo i očekivati s obzirom na njihovu blizinu (Slika 6.1-12). Ipak, razine podzemne vode u zdencu na crpilištu Jezerce nešto brže reagiraju na povećanje količine crpljenja nego na bušotini JEZ-1. Za prikaz tog odnosa izabran je dan 7. lipnja 2019. godine kada je crpljenje na zdencu Jezerce povećano sa 132 na 266 l/s. Na slici 6.1-13 prikazane su mjerene 10 minutne razine podzemne vode. Može se uočiti da je do 10 sati razina podzemne vode na zdencu i bušotini bila ujednačena dok je nakon uključivanja crpke jačim intenzitetom došlo do sniženja i razlike u razinama podzemne vode od oko 80 cm (Slika 6.1-13).



Slika 6.1-13. Odnos razina podzemne vode zdenca i bušotine JEZ-1 na crpilištu Jezerce na dan 7.6.2019.



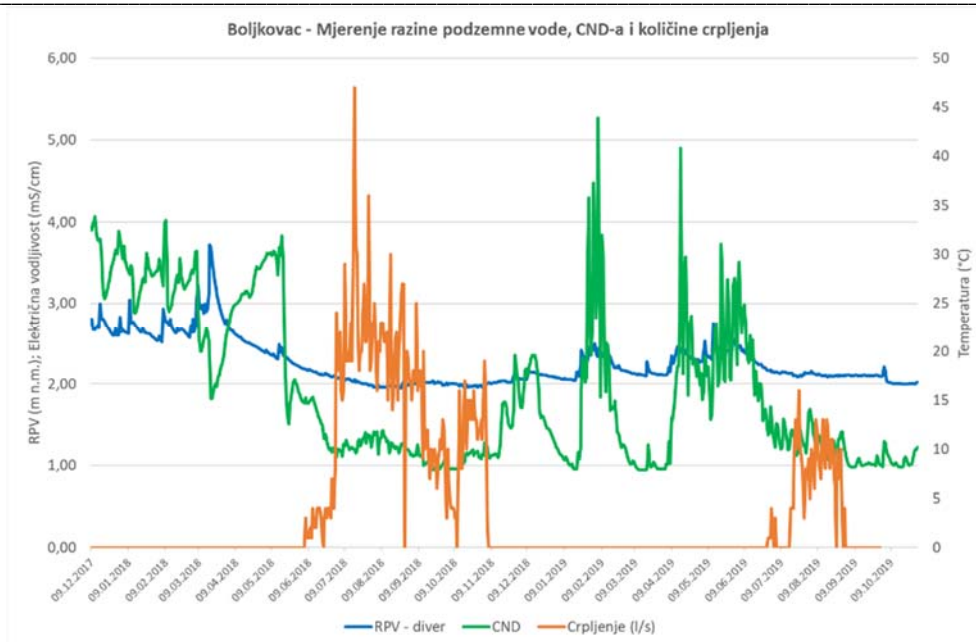
Slika 6.1-14. Odnos vrijednosti električne vodljivosti i temperature u zdencu na vodocrpilištu Boljkovac



Slika 6.1-15. Odnos električne vodljivosti i količina oborina na crpilištu Boljkovac

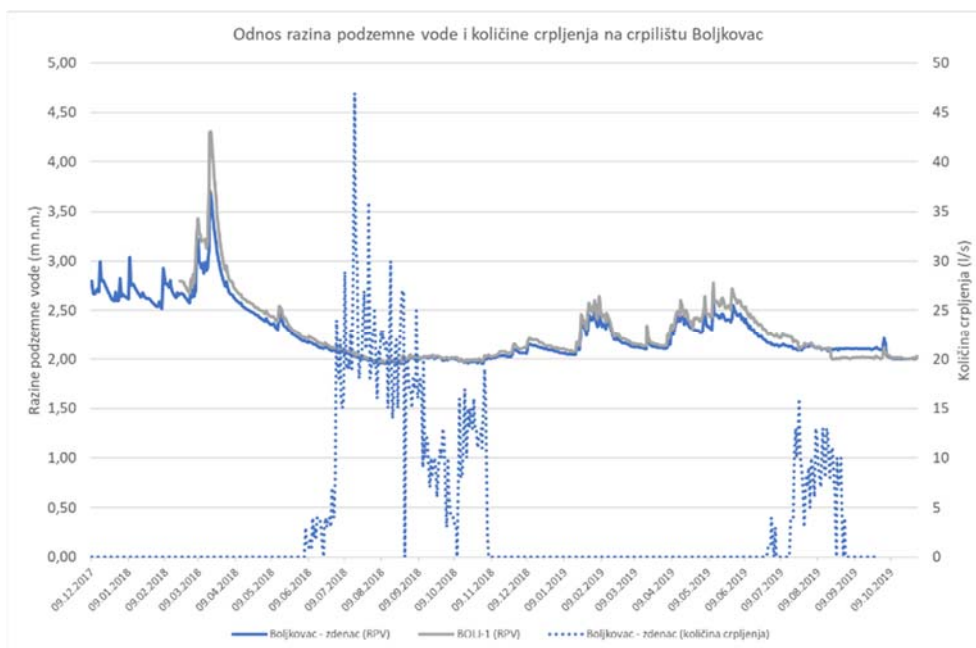
Na **vodocrpilištu Boljkovac** vrijednost električne vodljivosti karakteristična je za vode pod znatnim utjecajem zaslanjenja. Prosječne dnevne vrijednosti električne vodljivosti su tijekom provođenja operativnog monitoringa dosežale u dva izdvojena maksimuma 5,27 mS/cm (6. veljače 2019.) i 4,89 mS/cm (16.4.2019.). U prvoj polovici 2018. godine vrijednost električne vodljivosti se kretala u rasponu od 1,8 mS/cm pa sve do 4,02 mS/cm. Početkom sušnog razdoblja 2018. godine vrijednost električne vodljivosti pada prema 1 mS/cm da bi krajem tog sušnog razdoblja, nakon prvih jakih oborina porasla na 2,35 mS/cm. Nakon dva navedena maksimuma tijekom kišnog razdoblja, u sušnom razdoblju 2019. godine vrijednost električne vodljivosti pada na 1 mS/cm i tako ostaje do kraja razdoblja opažanja (Slike 6.1-14 i 6.1-15). U istom razdoblju temperatura vode se kretala u rasponu od 14,8 do 15,5 °C, ali obrnuto proporcionalno od vrijednosti električne vodljivosti. Naime, tijekom ljetnih sušnih razdoblja zabilježene su niže temperature podzemne vode, a tijekom kišnih razdoblja više temperature.

Povećane vrijednosti električne vodljivosti na vodocrpilištu Boljkovac nisu rezultat precrpljivanja već se događaju u potpuno prirodnim uvjetima. Naime, na vodocrpilištu Boljkovac je bilo crpljeno samo u trenucima kada je vodonosnik bio u slatkovodnim uvjetima, odnosno tijekom ljetnih sušnih razdoblja 2018. i 2019. godine. U hidrološki vodnim razdobljima na crpilištu Boljkovac nije bilo crpljenja (Slika 6.1-16). Razine podzemne vode bile su najniže tijekom ljetnih sušnih razdoblja kada je i sustav bio najstabilniji. Tijekom pojava zaslanjenja zabilježene su i više razine podzemne vode.



Slika 6.1-16. Odnos razine podzemne vode, električne vodljivosti i količine crpljenja na crpilištu Boljkovac

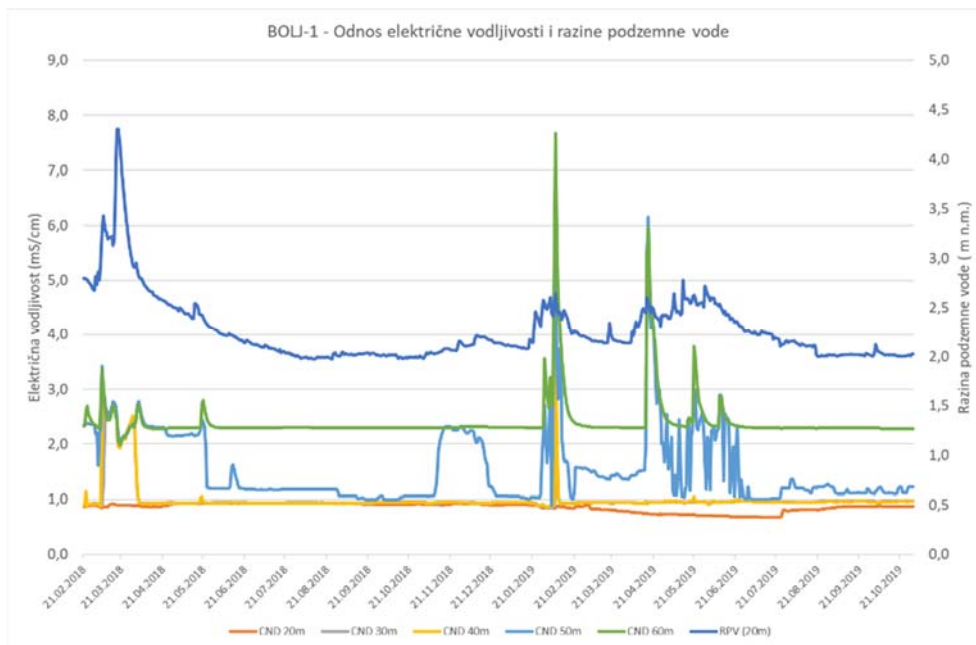
Neposredno pored zdenca crpilišta Boljkovac izvedena je piezometarska bušotina BOLJ-1. Na njoj su mjerene vrijednosti električne vodljivosti, temperature i razine podzemne vode na različitim dubinama vodonosnika (20 m, 30 m, 40 m, 50 m i 60 m ispod srednje razine mora).



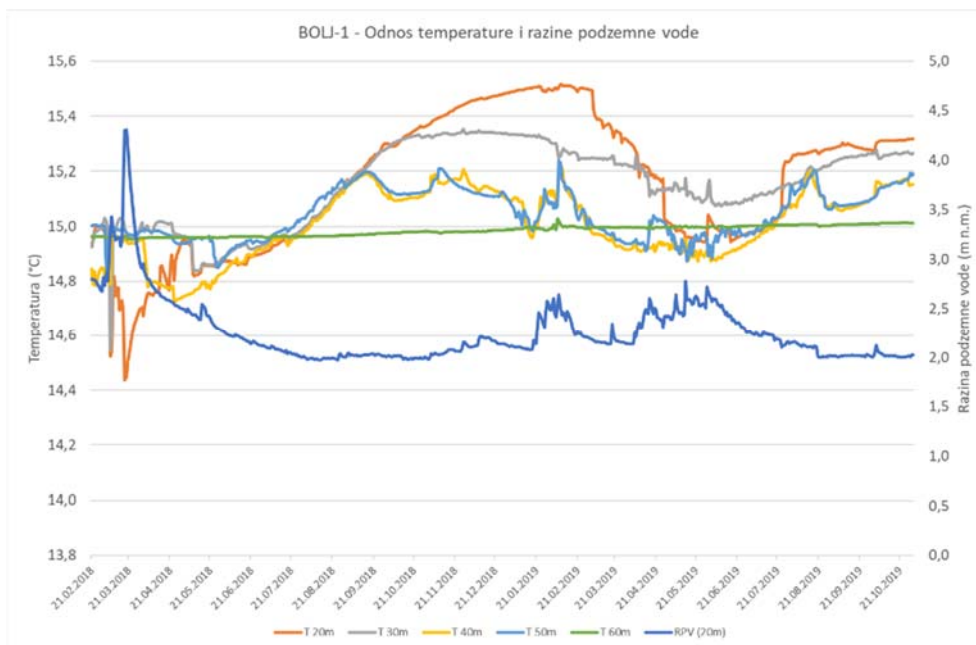
Slika 6.1-17. Odnos razine podzemne vode na zdencu crpilišta Boljkovac i bušotine BOLJ-1 te količine crpljenja

Razina podzemne vode na piezometarskoj bušotini BOLJ-1 bila je vrlo slična kao i na zdencu vodocrpilišta Boljkovac samo su maksimumi na bušotini BOLJ-1 bili nešto izraženiji nego na zdencu Boljkovac (Slika 6.1-17). Nije zabilježen utjecaj crpljenja na promjene razine podzemne vode na zdencu Boljkovac, a utjecaj crpljenja nije zabilježen niti na bušotini BOLJ-1.

Po dubini vodonosnika do dubine od 40 metara ispod srednje razine mora vrijednosti električne vodljivosti bile su ujednačene osim tijekom povišenih saliniteta kada je nešto veći maksimum zabilježen na većoj dubini. Na dubini od 50 metara ispod srednje razine mora znatno se češće pojavljuju veće vrijednosti električne vodljivosti dok je na dubini od 60 metara najniža vrijednost električne vodljivosti oko 2,3 mS/cm dok je najviša prosječna dnevna vrijednost električne vodljivosti iznosila 7,7 mS/cm (Slika 6.1-18). Maksimalno izmjerena vrijednost električne vodljivosti tijekom razdoblja operativnog monitoringa iznosila je 9,132 mS/cm, a izmjerena je 6. veljače 2019. godine u 19:30 sati.



Slika 6.1-18. Odnos razine podzemne vode i električne vodljivosti po dubini bušotine BOLJ-1



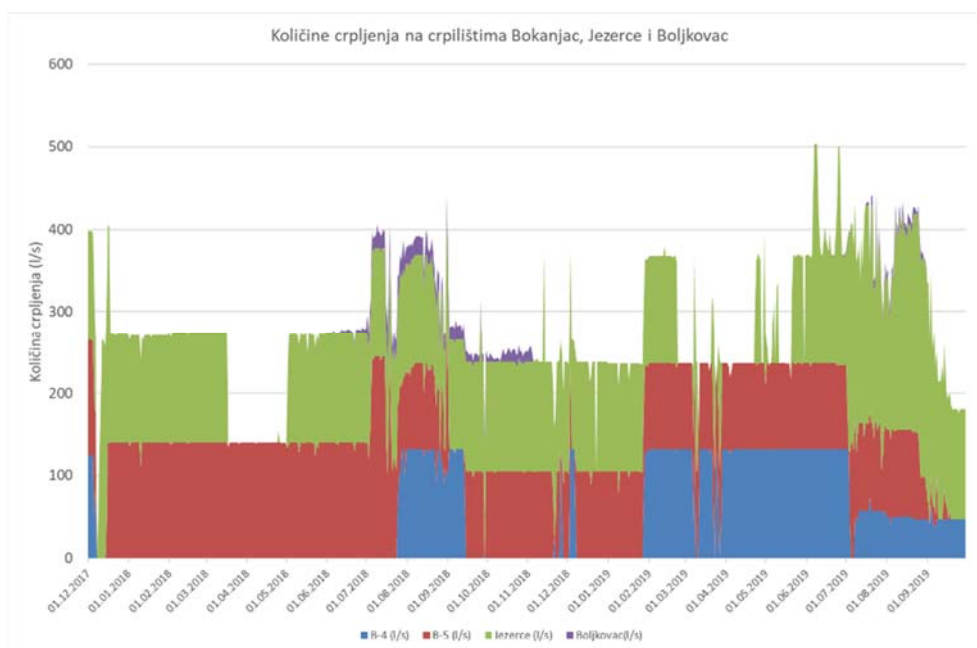
Slika 6.1-19. Odnos razine podzemne vode i temperature po dubini bušotine BOLJ-1

Temperatura podzemne vode po dubini vodonosnika u bušotini BOLJ-1 ponašala se je u plićoj zoni vodonosnika vrlo slično kao i temperatura vode u zdencu. Tijekom sušnih razdoblja bilježene su nešto



više temperature (15,5 °C), dok je tijekom kišnih razdoblja temperatura vode padala sve do 14,5 °C. Takve su promjene izmjerene na dubinama od 20 i 30 metara ispod srednje razine mora s time da su na 30 metara dubine te promjene nešto manje. Na dubinama od 40 i 50 metara promjene temperature ovisno o hidrološkim uvjetima bile su vrlo slične, ali manjih intenziteta nego u plićoj zoni bušotine. U najdubljem dijelu bušotine temperatura podzemne vode iznosila je oko 15 °C i bila je konstantna tijekom cijelog razdoblja opažanja (Slika 6.1-19).

Tijekom provedbe operativnog monitoringa zdenci crpilišta Bokanjac, Jezerce i Boljkovac bili su korišteni za vodoopskrbu grada Zadra. **Količine crpljenja na zdencima** su bile različite ovisno o hidrološkim uvjetima, koncentracijama klorida u podzemnim vodama, ali i potrebama grada Zadra. Samo jedan dan (8. prosinca 2017.) niti jedno od ova tri crpilišta nije bilo aktivno, ali je to bilo prije početka provođenja operativnog monitoringa (9. prosinca 2017.).



Slika 6.1-20. Količine crpljenja na vodoopskrbnim objektima tijekom provođenja operativnog monitoringa

Na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac crpljeno je sa 125 l/s početkom prosinca 2017. godine. Već 8. prosinca 2017. je crpljenje zaustavljeno te na zdencu nije crpljeno sve do 25. srpnja 2018. godine. Od tada pa sve do 14. rujna 2018. crpilište je bilo aktivno i crpljeno je maksimalno 132 l/s. Nakon toga crpljeno je nekoliko dana tijekom početka prosinca 2018. godine sa 132 l/s i ponovno u siječnju 2019. godine (132 l/s). Od siječnja 2019. godine pa sve do kraja operativnog monitoringa zdenac je bio uglavnom aktivan, a crpljeno je 132 l/s u razdoblju do srpnja 2019. dok je u razdoblju od srpnja do kraja rujna 2019. godine količina crpljenja smanjena na 58 l/s (Slika 6.1-20).

Zdenac B-5 vodocrpilišta Bokanjac bio je aktivan gotovo cjelokupno razdoblje trajanja operativnog monitoringa te je uglavnom crpljeno s kapacitetom od 140 l/s. U rujnu 2018. kapacitet crpljenja je smanjen na 105 l/s. Tim je kapacitetom crpljeno do 26. kolovoza 2019. godine kada je postupno kapacitet smanjivan do prestanka crpljenja polovicom rujna 2019. godine (Slika 6.1-20).

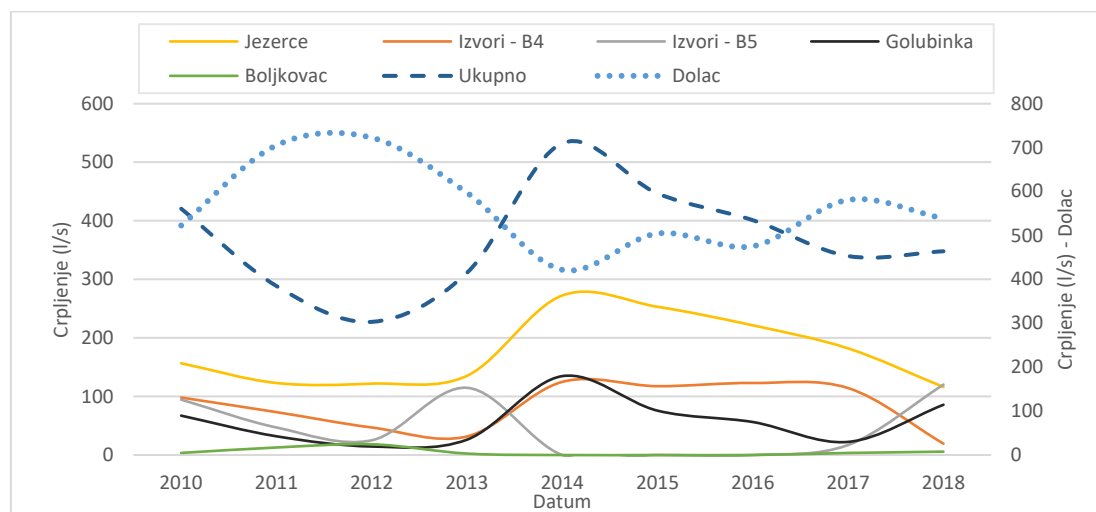
Crpilište Jezerce je bilo aktivno kroz gotovo cijelo razdoblje operativnog monitoringa s kapacitetom crpljenja od 132 l/s. Početkom srpnja 2019. godine taj je kapacitet povećan na oko 250 l/s te je s tim kapacitetom crpljeno sve do početka rujna 2019. godine kada je količina crpljenja smanjena na 132 l/s. Ta se je količina crpljenja održala sve do kraja rujna 2019. godine (Slika 6.1-20).

Vodocrpilište Boljkovac nije bilo aktivno od početka provođenja operativnog monitoringa sve do početka lipnja 2018. godine, a i tada su količine crpljenja iznosile oko 5 l/s. Početkom srpnja te su količine povećane na oko 20-tak l/s te je crpljenje s kapacitetom od svega nekoliko l/s do 20-tak l/s bilo sve do početka studenoga 2018. godine kada se je prestalo s crpljenjem. Crpilište je ponovno aktivirano tek u srpnju i kolovozu 2019. godine kada je crpljeno s kapacitetima od nekoliko l/s do 15-tak l/s. Početkom rujna 2019. godine prestalo se sa crpljenjem na vodocrpilištu Boljkovac i crpilište nije bilo aktivno sve do kraja provođenja operativnog monitoringa (Slika 6.1-20).

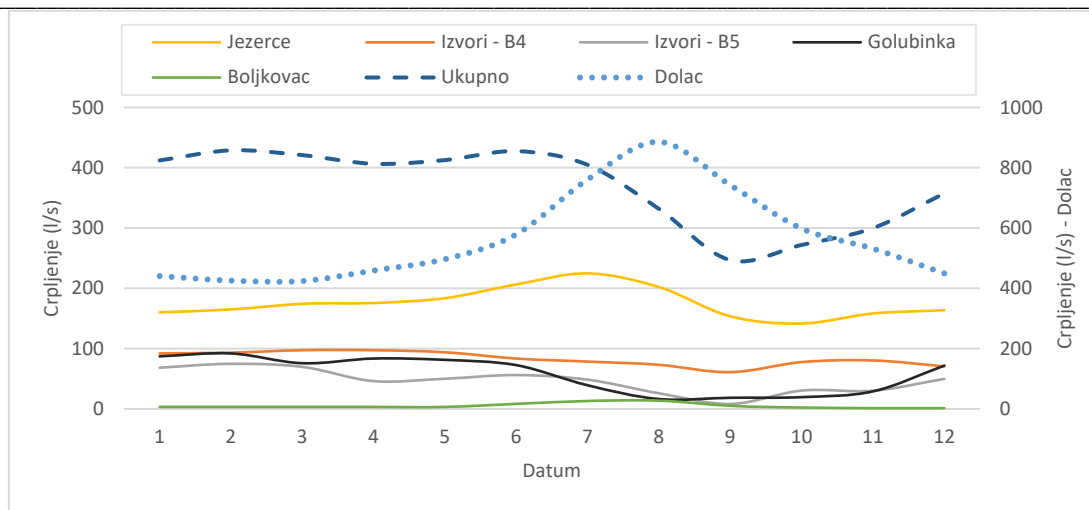
## 6.2. Analiza količina crpljenja

Količine crpljenja značajan su bilančni pokazatelj, kao i mogući uzročnik pojava povećanih koncentracija sadržaja klorida u zahvaćenim količinama voda tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja. Vodovod Zadar osim zahvata na području TPV Bokanjac – Poličnik za zadovoljavanje svojih vodoopskrbnih potreba koristi i vodozahvat Dolac na Zrmanji, gdje se zahvaćaju vode izvorišta Muškovci, a tijekom sušnih prilika, u situacijama premalih dotoka na izvorištu Muškovci, i voda iz korita Zrmanje. Za potrebe izrade ovog dokumenta od strane Vodovoda Zadar dobiveni su podaci o crpljenim količinama voda za razdoblje 2010.-9.2019. (osim Dolaca koji ima podatke do srpnja 2018.).

Na slici 6.2-1 dani su prikazi hoda karakterističnih godišnjih vrijednosti protoka srednjih crpljenih količina voda Vodovoda Zadar, a na slici 6.2-2 dana je i unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih crpljena. Valja napomenuti da se iskazane ukupne količine odnose na zahvaćene količine s vodozahvata na području TPV Bokanjac – Poličnik, i ne uključuju i vode koje Vodovod Zadar koristi iz svog regionalnog vodovoda s područja Zrmanje, odnosno vodozahvata Dolac čiji su podaci ovdje dani ilustrativno.

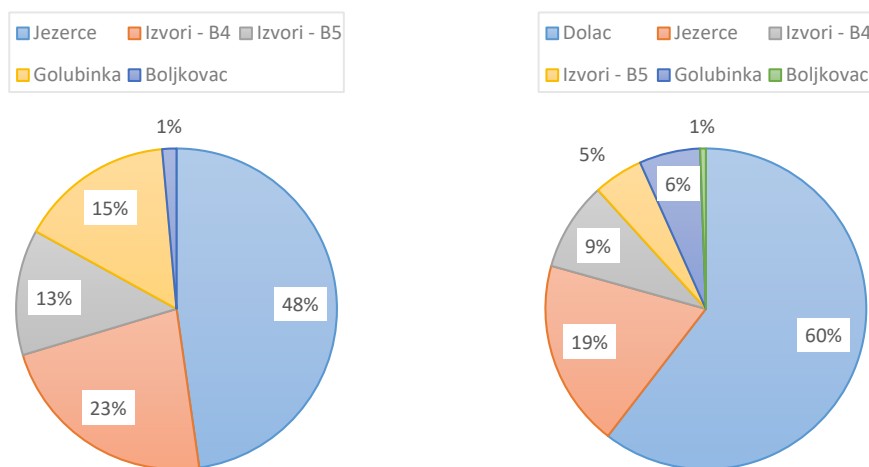


Slika 6.2-1. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih crpljenih protoka zabilježenih na svim postajama Vodovoda Zadar (2010. – 2018.)



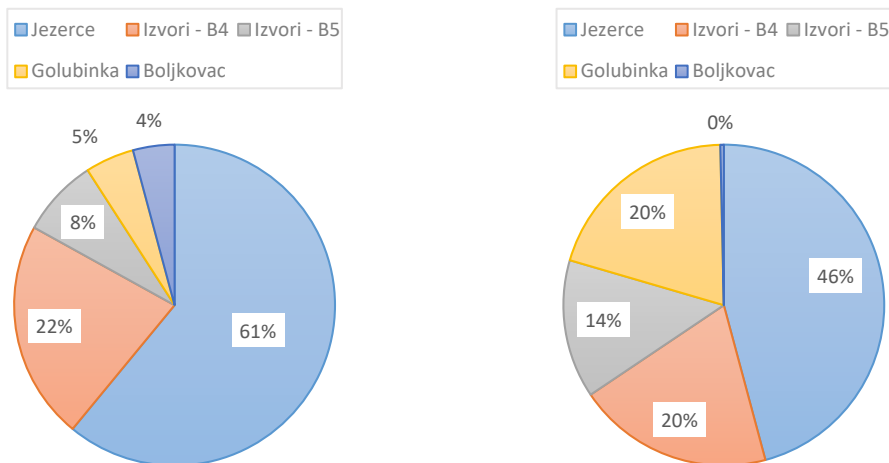
Slika 6.2-2. Unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih crpljenih protoka zabilježenih na svim postajama na Bokanjcu (2010. – 2018.)

Na slici 6.2-3 dan je prikaz udjela srednjih godišnjih crpljenih količina na svim izvorima (sa i bez vodozahvata Dolac). Iz prikaza vidimo da se najveće količine vode crpe sa izvora Dolac (60%), dok se najmanje količine crpe sa izvora Boljkovac (svega 1%). Ukoliko se pak promatraju međuodnosi zahvaćenih količina voda samo na području TPV Bokanjac – Poličnik, vidljivo je da se 48% zahvaćenih količina odnosi na vode Jezerca, a najmanje s Boljkovca – svega oko 1%.



Slika 6.2-3. Udio crpljenih količina po vodozahvatima Vodovoda Zadar u razdoblju od 2010. do 2018. (lijevo), te uključivo i vodozahvat Dolac (desno)

Izdvojene su i zahvaćene količine voda koje se na analiziranom TPV zahvaćaju u kolovoz u kojemu se crpe najveće količine vode te u prosincu kad su te količine najmanje (slika 6.2-4). Vidljivo je da tijekom sušnih razdoblja najveće količine vodoopskrbi daje Jezerce (61%). U vodnijim razdobljima se udio smanjuje na račun većega korištenja voda iz izvora Golubinka kojemu se tijekom sušnih razdoblja izdašnost smanji te se posljedično pojavljuju i povećani sadržaji klorida. Zbog toga se tijekom takvih sušnih razdoblja u većoj mjeri koriste vode s vodozahvata Boljkovac.



Slika 6.2-4. Udio crpljenih količina u mjesecu kolovozu (lijevo) i prosincu (desno) u razdoblju od 2010. do 2018.

U **tablici 6.2-1** prikazani su rezultati osnovne statističke obrade podataka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih ili godišnjih vrijednosti) srednjih mjesečnih i godišnjih crpljenih protoka skupno za sve vodozahvate na području TPV Bokanjac – Poličnik, u **tablici 6.2-2** za pojedinačne količine zahvaćenih voda po pojedinim vodozahvatima, a u **tablici 6.2-3** isti ti podaci za vodozahvat Dolac u slivu Zrmanje.

Iz tablica je vidljiv relativno ujednačeni karakter zahvaćenih količina voda, te pojačano crpljenje tijekom sušnijeg dijela godine s vodozahvata Dolac koji se nalazi izvan analiziranog TPV Bokanjac – Poličnik. Prosječno se sa svih vodozahvata koji se nalaze na području spomenutog TPV crpi oko 368 L/s (radi usporedbe na Dolcu 566 L/s) s time da se pojedinih godina te količine penju i na 532 L/s.

Tablica 6.2-1. Ukupne mjesečne i godišnje vrijednosti crpljenih protoka (l/s) na svim vodozahvatima na području TPV Bokanjac – Poličnik za razdoblje od 2010. do 2018. godine

UKUPNO (l/s) (2010.-2018.)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SR God
2010	449	526	527	507	532	593	583	364	200	202	196	367	421
2011	513	526	518	396	273	261	238	200	162	127	117	133	289
2012	167	155	155	151	158	188	204	205	175	334	422	416	228
2013	398	362	266	238	147	307	516	450	323	224	198	306	311
2014	449	411	513	565	617	586	524	549	599	523	462	591	532
2015	609	592	524	512	521	486	431	286	202	252	473	470	447
2016	479	464	462	496	556	569	484	356	193	194	206	354	401
2017	272	405	452	453	448	396	270	210	103	345	385	340	340
2018	371	419	369	340	462	461	392	366	265	248	240	240	348
2019	249	340	243	261	369	478	384	391	221				
Sr	412	429	421	406	413	428	405	332	247	272	300	357	368
Stdev	131	126	132	139	176	149	138	120	146	116	135	131	92
Cv	0,32	0,29	0,31	0,34	0,43	0,35	0,34	0,36	0,59	0,43	0,45	0,37	0,25
Max	609	592	527	565	617	593	583	549	599	523	473	591	532
Min	167	155	155	151	147	188	204	200	103	127	117	133	228

Tablica 6.2-2. Mjesečne i godišnje vrijednosti crpljenih protoka (l/s) po pojedinim vodozahvatima TPV Bokanjac – Poličnik za razdoblje od 2010. do 2018. godine

Srednja mjesečna crpljenja (l/s) za razdoblje 2010. - 2018.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SR God
<b>Jezerce</b>													
Sr	160	165	174	176	184	207	225	202	154	142	158	164	176
Stdev	96	89	93	103	99	70	68	65	72	53	71	68	60
Cv	0,60	0,54	0,53	0,59	0,54	0,34	0,30	0,32	0,47	0,38	0,45	0,41	0,34
Max	284	282	278	283	287	283	290	280	283	268	283	282	273
Min	0	0	48	0	0	114	132	128	46	79	82	91	116
<b>Bunar B4</b>													
Sr	92	93	97	97	94	84	79	73	61	78	81	71	83
Stdev	67	63	70	70	78	69	50	41	36	56	54	49	42
Cv	0,73	0,68	0,72	0,71	0,83	0,83	0,63	0,56	0,58	0,72	0,67	0,69	0,50
Max	189	169	183	182	200	172	148	150	151	148	145	142	125
Min	0	0	0	0	0	0	25	31	28	0	7	19	20
<b>Bunar B5</b>													
Sr	69	75	70	46	50	56	49	26	8	30	30	50	47
Stdev	82	95	85	64	66	70	74	43	19	40	45	61	50
Cv	1,20	1,26	1,22	1,40	1,32	1,25	1,51	1,65	2,29	1,31	1,48	1,22	1,08
Max	178	248	207	141	145	148	168	104	57	105	117	146	120
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Golubinka</b>													
Sr	87	92	76	84	81	73	39	16	19	20	29	72	57
Stdev	50	61	66	71	83	75	39	41	55	40	38	52	39
Cv	0,58	0,66	0,87	0,85	1,02	1,03	1,00	2,53	2,98	2,02	1,29	0,73	0,67
Max	182	165	176	200	198	185	99	125	166	107	95	167	135
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
<b>Boljkovac</b>													
Sr	4	3	3	3	3	8	13	14	5	2	1	1	5
Stdev	10	10	10	6	5	13	13	13	8	3	2	4	6
Cv	2,81	2,80	2,76	1,85	1,56	1,52	0,97	0,92	1,52	1,41	1,66	3,00	1,22
Max	30	29	29	19	15	37	32	34	23	10	6	11	18
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>UKUPNO</b>													
Sr	412	429	421	406	413	428	405	332	247	272	300	357	368
Stdev	131	126	132	139	176	149	138	120	146	116	135	131	92
Cv	0,32	0,29	0,31	0,34	0,43	0,35	0,34	0,36	0,59	0,43	0,45	0,37	0,25
Max	609	592	527	565	617	593	583	549	599	523	473	591	532
Min	167	155	155	151	147	188	204	200	103	127	117	133	228

Tablica 6.2-3. Mjesečne i godišnje vrijednosti crpljenih protoka (l/s) po za vodozahvat Dolac za razdoblje od 2010. do 2017. godine

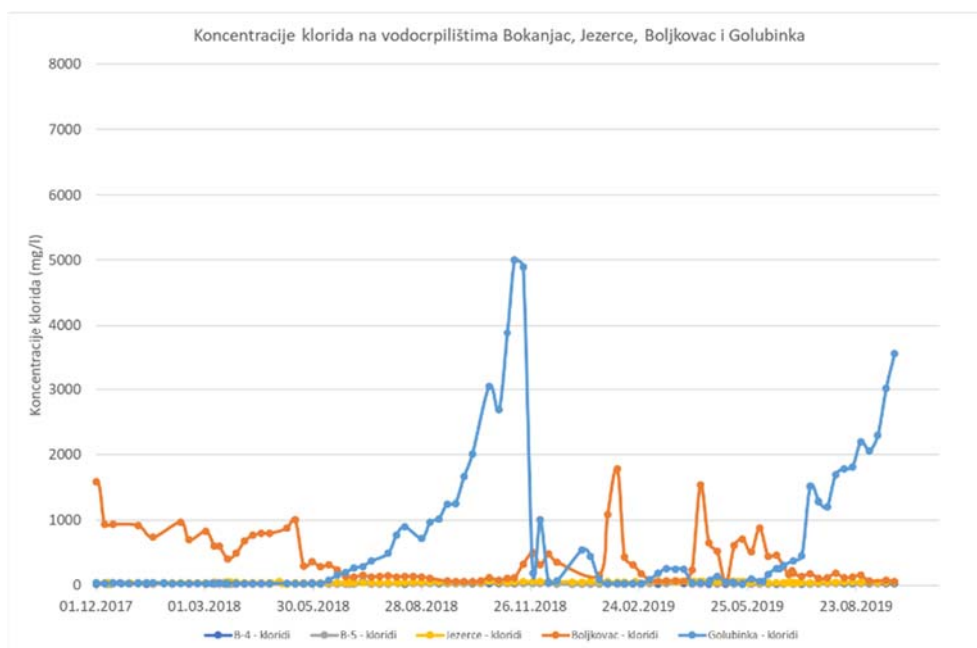
Dolac (l/s) (2010.-2017.)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SR God
Sr	440	426	424	459	497	579	761	886	743	598	532	450	566
Stdev	118	146	168	156	190	162	189	198	158	130	151	122	107
Cv	0,27	0,34	0,40	0,34	0,38	0,28	0,25	0,22	0,21	0,22	0,28	0,27	0,19
Max	645	759	786	707	747	802	1066	1152	910	832	744	689	722
Min	308	306	319	303	258	333	566	602	428	431	371	311	422

### 6.3. Analiza kvalitete podzemne vode

Najrasprostranjenije korišteni indikatori zaslanjenja priobalnih vodonosnika su koncentracije klorida i sulfata u podzemnim vodama i vrijednost električne vodljivosti. Povišene vrijednosti tih indikatora u odnosu na prosječne vrijednosti u tom području upućuju na zaslanjenje, a njihova prednost je u tome što se vrlo jednostavno i jeftino mogu mjeriti. Tako se koncentracije klorida i sulfata veće od 150 mg/l, te vrijednosti električne vodljivosti više od 1 mS/cm, obično uzimaju kao granice kada počinjemo govoriti za neki priobalni vodonosnik da je pod utjecajem zaslanjenja.

U analizi kvalitete podzemne vode za razdoblje od 1. prosinca 2017. do 30. rujna 2019. godine korišteni su podaci o koncentracijama klorida i sulfata laboratorija Vodovoda Zadar. Koncentracije klorida su prelazile u razmatranom razdoblju maksimalno dopuštene koncentracije samo na izvoru Golubinka i vodocrpilištu Boljkovac.

Na izvoru Golubinka koncentracije su maksimalno došle 5006 mg/l što je 20 puta viša vrijednost od vrijednosti MDK (250 mg/l). Od 3. srpnja 2017. do kraja razdoblja monitoringa 30. rujna 2019. godine koncentracije su, osim u samo nekoliko uzoraka, bile više od MDK vrijednosti za pitke vode. Ipak, zabilježena su dva ekstremna događaja zaslanjenja 13. studenoga 2018. godine (5006 mg/l) i 24. rujna 2019. godine (3550 mg/l) s time da je potrebno napomenuti da je zaslanjenje na kraju razdoblja opažanja još bilo u fazi rasta koncentracije klorida (Slika 6.3-1).

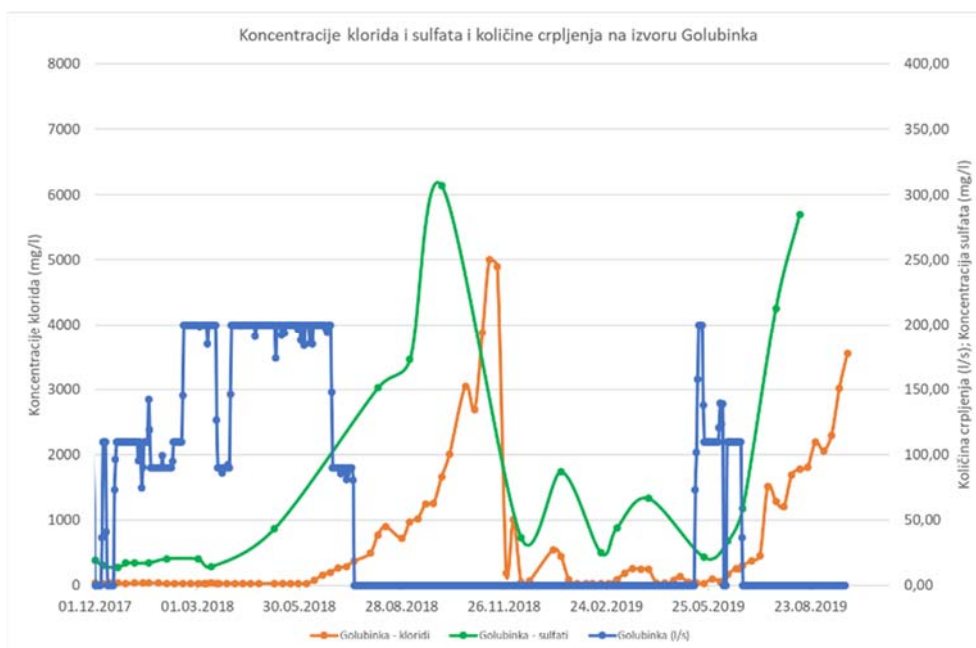


Slika 6.3-1. Koncentracije klorida na vodocrpilištima Bokanjac, Jezerce, Boljkovac i izvoru Golubinka

Na slikama 6.3-1 i 6.3-2 je vidljivo da izvor Golubinka zaslanjuje tijekom ljetnih sušnih razdoblja te da u tom razdoblju nema crpljenja. Crpilište se koristi za potrebe javne vodoopskrbe samo u razdobljima kada na izvoru istječe slatka voda. U razdoblju operativnog monitoringa između prosinca 2017. i rujna 2019. godine na izvoru je crpljeno sa oko 200 l/s sve do 17. srpnja 2018. godine kada su se počeli povećavati koncentracije klorida u podzemnoj vodi. Tada je crpilište isključeno i na njemu nije crpljeno sve do 13. svibnja 2019. godine kada je crpilište ponovno uključeno sa 200 l/s. Time je kapacitetom crpljeno svega nekoliko dana te je tada crpni kapacitet smanjen na 110 l/s. U tom je razdoblju opet došlo do povećanja koncentracije klorida te je crpljenje prekinuto 24. lipnja 2019. godine i crpilište nije

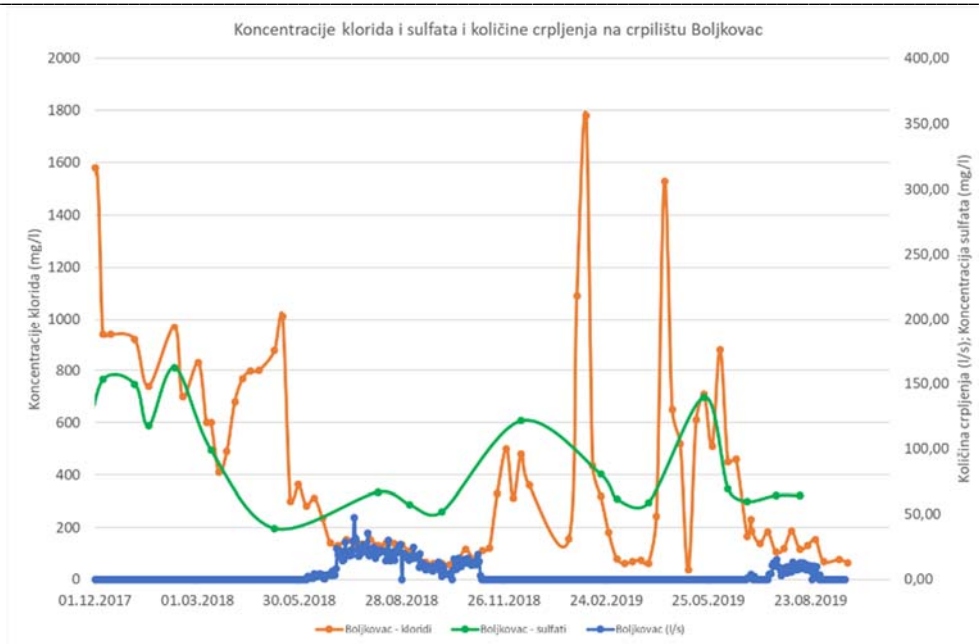
bilo aktivno do kraja razdoblja operativnog monitoringa. Izvor Golubinka zaslanjuje i u potpuno prirodnim uvjetima, a crpljenje u razdobljima pred samo sušno razdoblje sigurno pridonosi bržem zaslanjenju nego što bi bilo u potpuno prirodnim uvjetima. Vrlo je teško procijeniti veličinu utjecaja crpljenja na pojave zaslanjenja jer je u razdoblju operativnog monitoringa do povećanja koncentracija klorida dolazilo u sušnim razdobljima, ali i nakon razdoblja kada je crpljeno sa 200 l/s (Slika 6.3-2).

Slična situacija, kao i sa kloridima, je i sa koncentracijama sulfata u podzemnim vodama na izvoru Golubinka. Zabilježena su dva maksimuma koncentracija, prvi 2. listopada 2018. godine koji je iznosio 307 mg/l, a drugi 13. kolovoza 2019. godine (285,03 mg/l) s time da je koncentracija sulfata bila u fazi porasta do kraja razdoblja opažanja (Slika 6.3-2). Može se uočiti da su koncentracije sulfata niže od koncentracija klorida i da prelaze MDK vrijednosti za pitke vode samo u maksimumima koncentracija. Ipak, indikativno je da koncentracije sulfata nešto ranije reagiraju na proces zaslanjenja podzemnih voda nego koncentracije klorida.



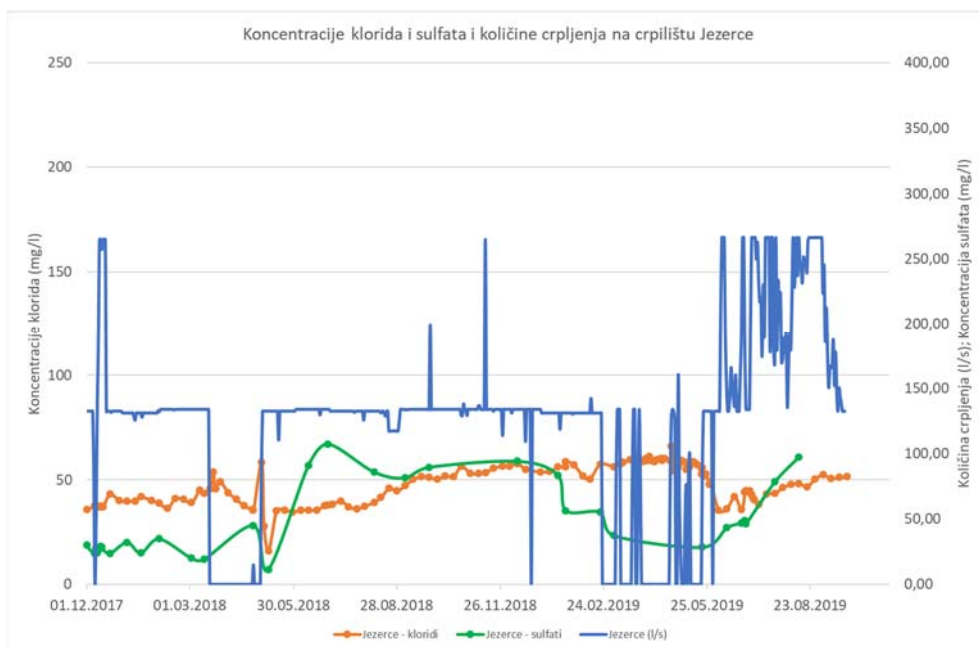
Slika 6.3-2. Koncentracije klorida i sulfata te količine crpljenja na izvoru Golubinka

Na crpilištu Boljkovac koncentracije klorida više od MDK vrijednosti bile su kroz gotovo cijelo razdoblje provođenja monitoringa osim tijekom sušnih razdoblja 2018. i 2019. godine kada su koncentracije pale ispod 200 mg/l (Slika 6.3-3). Tada je aktivirano i crpilište te je tijekom sušnog razdoblja 2018. godine crpljeno sa 20-tak l/s, a tijekom ljetnog razdoblja 2019. godine sa 15-tak l/s. Koncentracije sulfata kroz cijelo razdoblje provođenja monitoringa nisu prelazile 250 mg/l što je maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) za pitke vode. Ipak, mogu se uočiti povišene koncentracije sulfata koje prate povišene koncentracije klorida, ali sa nešto manjim amplitudama.



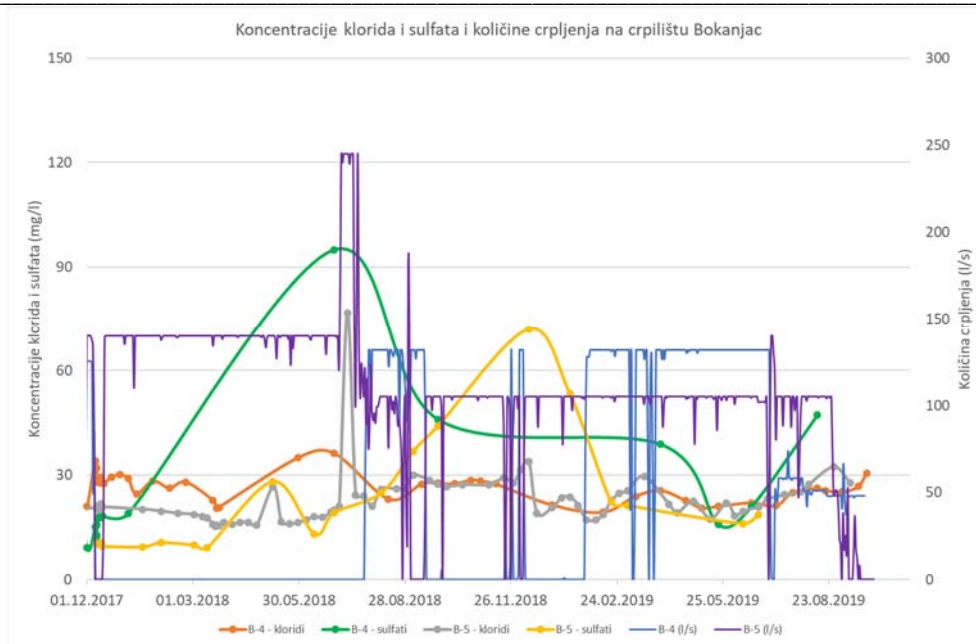
Slika 6.3-3. Koncentracije klorida i sulfata te količine crpljenja na crpilištu Boljkovac

Na crpilištu Jezerce maksimalne koncentracije klorida iznosile su tijekom provođenja operativnog monitoringa svega 66 mg/l što ukazuje na u ovome razdoblju nije bilo zasljanjenja na crpilištu Jezerce. Maksimalne koncentracije sulfata su iznosile 107,4 mg/l, također znatno niže od MDK vrijednosti (250 mg/l). Koncentracije sulfata su reagirale na crpne količine na način da je nakon početka crpljenja 4. svibnja 2018. godine (132,5 l/s) došlo do povišenja koncentracija sulfata sa 11,5 na maksimalnih 107,4 mg/l. Prestankom crpljenja krajem veljače 2019. godine dolazi do sniženja koncentracija sulfata da bi opet s crpljenjem koje je počelo krajem svibnja 2019. godine prvo sa 132,5 l/s, a onda i sa 266 l/s došlo do povećanja koncentracija sulfata do 97,5 mg/l (Slika 6.3-4).



Slika 6.3-4. Koncentracije klorida i sulfata te količine crpljenja na crpilištu Jezerce





Slika 6.3-5. Koncentracije klorida i sulfata te količine crpljenja na crpilištu Bokanjac

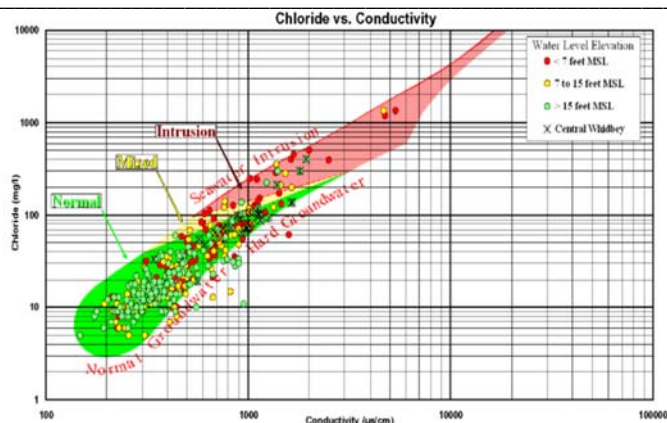
Zdenci B-4 i B-5 vodocrpilišta Bokanjac međusobno su udaljeni svega 100-tinjak metara tako da koncentracije klorida na zdencima B-4 i B-5 imaju vrlo slične vrijednosti. Na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac su tijekom razdoblja provođenja operativnog monitoringa koncentracije klorida bile ujednačene, u rasponu od 19,3 do 36,3 mg/l, a prosječna koncentracija klorida iznosila je 26,5 mg/l što je gotovo 10 puta niža koncentracija od vrijednosti MDK za pitke vode. Na zdencu B-5 izmjerena je maksimalna koncentracija klorida u razdoblju opažanja tijekom operativnog monitoringa od 76,87 mg/l (10. srpnja 2018.). Može se pretpostaviti da je u tom trenutku i na B-4 koncentracija klorida isto bila povišena, ali tog dana nije bio uzorkovan zdenac B-4. U trenutku maksimalno izmjerene koncentracije klorida na B-5, zdenac je bio crpljen sa 245 l/s. Smanjenjem količine crpljenja na 120 l/s dolazi do sniženja koncentracije klorida na uobičajene vrijednosti od oko 25 mg/l (Slika 6.3-5).

Koncentracije sulfata su imale nešto veće amplitude te je maksimalno izmjerena koncentracija sulfata na zdencu B-4 iznosila 95 mg/l krajem lipnja 2018. godine. Na zdencu B-5 vodocrpilišta Bokanjac koncentracije sulfata tijekom tog maksimuma nisu mjerene. Obrnuta situacija bila 11. prosinca 2018. godine kada su na zdencu B-5 izmjerene koncentracije sulfata od 72 mg/l dok zdenac B-4 tih dana nije uzorkovan za analize sulfata (Slika 6.3-5).

Osim spomenutih parametara koji su obrađeni kroz kemijske analize vode koje provodi Laboratorij Vodovoda Zadar (kloridi) te kroz operativni monitoring (električna vodljivost) u svjetskoj se literaturi spominju i neki drugi pokazatelji koji su dobri indikatori zaslanjenja.

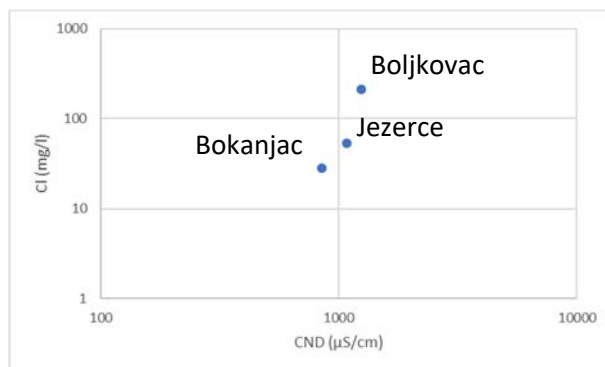
Na području TPV Bokanjac-Poličnik uzeti su uzorci za kemijsku analizu koncentracija klorida, bromida i stroncija u podzemnim vodama. Uzorci su uzeti 20. kolovoza 2019. godine tijekom ljetnog sušnog razdoblja na zdencu B-5 crpilišta Bokanjac, zdencu crpilišta Jezerce i zdencu crpilišta Boljkovac, a analizirani su u Laboratoriju za geokemiju okoliša Geotehničkog fakulteta.

Odnos klorida i električne vodljivosti se koristi kod identifikacije intruzije zaslanjene vode, a primjer je prikazan na slici 6.3-6. Izmjerene vrijednosti klorida i električne vodljivosti na svakom pojedinom vodnom objektu prikazani su na slici kao jedna točka, a njen položaj prikazuje da li se radi o potpuno slatkome priobalnom vodonosniku, dijelu vodonosnika zahvaćenom zonom miješanja slane i slatke vode ili njegovom dijelu koji je pod utjecajem zaslanjenja.



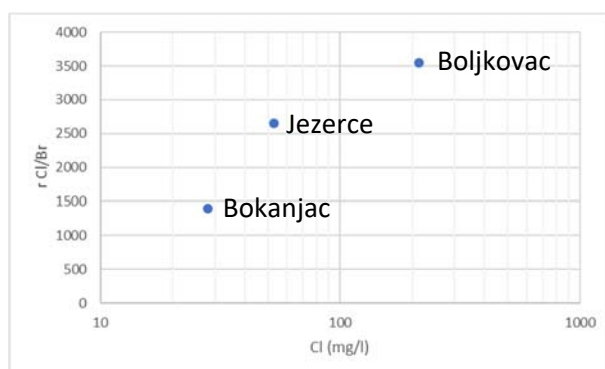
Slika 6.3-6. Odnos koncentracija klorida i vrijednosti električne vodljivosti (WSDE, 2005)

Usporedbom [slika 6.3-6](#) i [6.3-7](#) može se uočiti da se crpilište Bokanjac nalazi u području normalnih slatkih podzemnih voda, ali sa tendencijom prema zoni miješanja, vodocrpilište Jezerce se nalazi bliže zoni miješanja slatke i slane vode od Bokanjca dok se crpilište Boljkovac nalazi u grupi vodnih objekata koji su pod utjecajem zaslanjenja.



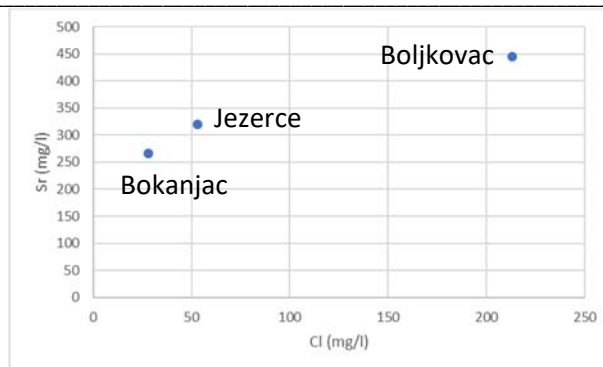
Slika 6.3-7. Odnos klorida i električne vodljivosti u podzemnim vodama na području TPV Bokanjac-Poličnik

Slično je pokazala i analiza omjera Cl/Br i klorida ([Slika 6.3-8](#)). Prema ovoj analizi crpilište Boljkovac je pod najvećim utjecajem zaslanjenja od sva tri analizirana crpilišta, nešto je manji utjecaj zaslanjenja na crpilištu Jezerce, a najmanji utjecaj zaslanjenja je na crpilištu Bokanjac.



Slika 6.3-8. Analiza omjera Cl/Br i klorida u podzemnim vodama na TPV Bokanjac-Poličnik

Omjer stroncija i klorida ([Slika 6.3-9](#)) upućuje na utjecaj zaslanjenja na crpilištu Boljkovac, dok je znatno manji utjecaj na crpilišta Jezerce i Bokanjac.



Slika 6.3-9. Analiza koncentracija stroncija i klorida u podzemnim vodama na TPV Bokanjac-Poličnik

Rezultati ove dodatne analize ukazuju da je najveći utjecaj zaslanjenja od opažanih vodnih objekata zabilježen na crpilištu Boljkovac. To je potvrđeno i operativnim monitoringom kroz koji je vrijednost električne vodljivosti mjerena po dubini vodonosnika svakih deset minuta. Crpilište Jezerce nalazi se vrlo blizu zone utjecaja zaslanjenja što je potvrđeno nešto povišenim vrijednostima električne vodljivosti, ali i ovim dodatnim analizama klorida, bromida i stroncija u podzemnim vodama. Najudaljenije od mora, a tako i od utjecaja zaslanjenja je crpilište Bokanjac na kojem su vrijednosti električne vodljivosti nešto više nego u drugim slatkovodnim vodonosnicima, ali nema značajnog utjecaja zaslanjenja. Spomenuti dodatni parametri ukazuju da se crpilište Bokanjac nalazi u zoni slatke vode, ali je na njemu također moguća pojava zaslanjenja tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja i u uvjetima preeksploatacije.

#### 6.4. Analiza odnosa razine podzemne vode i razine mora

Značajan dio hrvatskog dijela Dinarskog krša čini priobalno područje sa više od 1.000 km obalne linije i isto toliko otoka, hridi i rtova. To je ujedno i široka zona istjecanja krških vodonosnika Jadranskog sliva. Zbog otvorenosti geoloških struktura u većem dijelu priobalnog područja dolazi do direktnog kontakta slatke vode iz krških vodonosnika i slane morske vode. Takav odnos ima za posljedicu vrlo labilnu ravnotežu slane i slatke vode koja može prouzročiti, ovisno o hidrološkom stanju i lokalnim geološkim uvjetima vodonosnika, povišenje saliniteta vode. U zonama kontakta slane i slatke vode nema oštrog granica već se formiraju tzv. zone miješanja slatke i slane vode. Veličine i položaji zona miješanja ovise o više faktora, a prije svega o hidrauličkim gradijentima i geološkoj građi vodonosnika u priobalnom području. Jedan od takvih priobalnih vodonosnika je i područje TPV Bokanjac-Poličnik koje je sa sjevero-zapadne strane otvoreno prema utjecaju mora zbog pružanja geoloških struktura i njihove otvorenosti prema potencijalnom utjecaju mora zbog direktnog kontakta dobro vodopropusnih karbonatnih stijena sa morem.

Vodonosni sustavi kakve danas poznajemo nastali su uglavnom tijekom Kvartara, najmlađeg geološkoga razdoblja s karakterističnim klimatskim izmjenama ledenjačkih i međuledenjačkih doba, koja se mogu identificirati prema različitim tipovima sedimenata i pojava koje obilježavaju određeno geološko razdoblje. To je bilo također i vrijeme intenzivnih tektonskih zbivanja i jakih erozijskih procesa. Kada se govori o priobalnim krškim vodonosnicima i utjecajima mora na slatkovodne priobalne sustave onda se prvenstveno treba usmjeriti na promjene razina Jadranskog i Sredozemnog mora kao cjeline. Kraj pliocena i početak pleistocena u Dinaridima obilježen je pojavama izoliranih

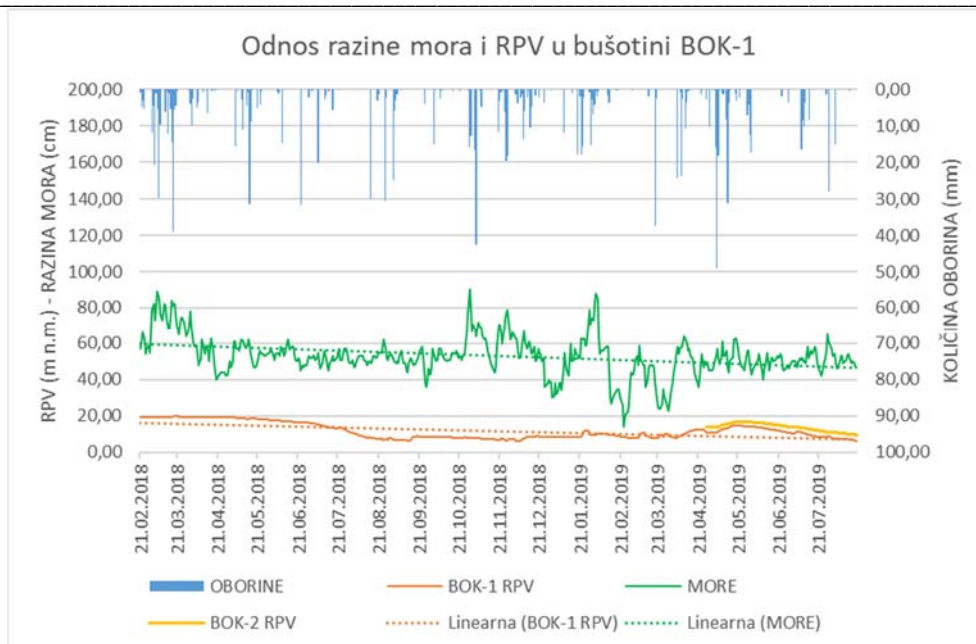
jezera (Krbavsko polje, Grobničko polje, ...), jakih erozijskih procesa i posebice začetka procesa okršavanja mase karbonatnih stijena. Postepeno dio vode s površine seli u krško podzemlje, a baza okršavanja se spušta do zabilježenih minimalnih razina mora. Iskustva istraživača na području Mediterana govore o dubinama do 150 m ispod današnje razine mora, što potvrđuju debljine nanosa u deltama rijeka, koje utječu u Jadransko more od preko 100 m (BIONDIĆ, B. & BIONDIĆ, R., 2014).

Prema ŠEGOTI (1968), tijekom zadnjeg glacijala (Würm) razina Jadranskog mora je bila oko 100 m niža od današnje. Delte rijeka koje su s područja današnjih Alpa dotjecale prema sjevernojadranskom području sezale su do razine današnjeg Dugog otoka. Tijekom ledenih doba najveći dio slatkih voda bio je u formi leda, a u deltama rijeka su obzirom na smanjene dotoke vode vladali pustinjski uvjeti s jakim vjetrovima, što je imalo za posljedicu nanose velikih količina eolskih sedimenata na rubnim otocima (Susak, Unije, Lošinj, Srakane). U priobalnim krškim vodonosnicima Dinarida događali su se procesi okršavanja karbonatnih stijena, koji su postepeno dosizali tadašnje razine mora. Zatopljenje nakon zadnje oledbe donijelo je s jedne strane ogromne količine vode od topljenja ledenoga pokrivača, a s druge strane povećanje volumena vode zbog povišene temperature. Morem je potopljeno sjevernojadransko područje (bivša delta), a slatkovodni sustavi su u cijelosti izdignuti od specifično teže morske vode. Međutim, more je ušlo i u okršeno karbonatno podzemlje rubnog dijela delte, ponegdje i više desetaka kilometara u današnje kopno (BIONDIĆ, B. & BIONDIĆ, R., 2014).

Priobalni krški vodonosnici s otvorenim geološkim strukturama kakav je i na TPV Bokanjac-Poličnik nalaze se u labilnoj ravnoteži slane i slatke vode i svaki dodatni utjecaj kao npr. crpljenje ili precrppljivanje, duga sušna razdoblja, ali i porast razine mora može negativno utjecati na tu ravnotežu i uzrokovati zaslanjenje priobalnih vodonosnika.

Kako bi se odredila veličina utjecaja mora na priobalni krški vodonosnik u TPV Bokanjac-Poličnik izrađena je analiza odnosa razine mora i razine podzemne vode. Prvi dio analize je analiza cjelokupnog razdoblja provedbe operativnog monitoringa i odnos razine podzemne vode i razine mora u različitim sezonskim uvjetima. Potrebno je napomenuti da se na tom području nalaze vodocrpilišta Boljkovac, Jezerce i Bokanjac koja mogu dodatno utjecati na razine podzemnih voda i sniženja razina uslijed crpljenja. Druga je analiza provedena za kratko razdoblje od tri dana kada nije bilo crpljeno na crpilištima Boljkovac i Jezerce kako bi se moglo utvrditi ponašanje priobalnog vodonosnika ovisno o pojavama plime i oseke.

Za analizu cjelokupnog razdoblja korišteni su podaci o razinama podzemne vode na bušotini BOK-1 koja se nalazi svega dvadesetak metara od zdenca B-5 crpilišta Bokanjac. Bušotina BOK-1 korištena je za ovu analizu jer je sustav monitoringa u njoj pokrenut po završetku bušotine 21. veljače 2018. godine i na njoj je najdulji niz podataka. Korišteni su podaci s bušotine kako se ne bi koristili podaci o razinama na samom zdenču crpilišta koji jako ovise o količinama crpljenja i vrlo brzo reagiraju na uključenje crpki. U analizi su uključeni i podaci s bušotine BOK-2 koja je izvedena kasnije tijekom trajanja operativnog monitoringa kako bi se vidjelo ponašanje dijela vodonosnika izvan zone utjecaja sniženja vodoopskrbnih objekata. Bušotina je postavljena u sustav monitoringa tek 27. travnja 2019. godine tako da je niz podataka znatno kraći nego na bušotini BOK-1.

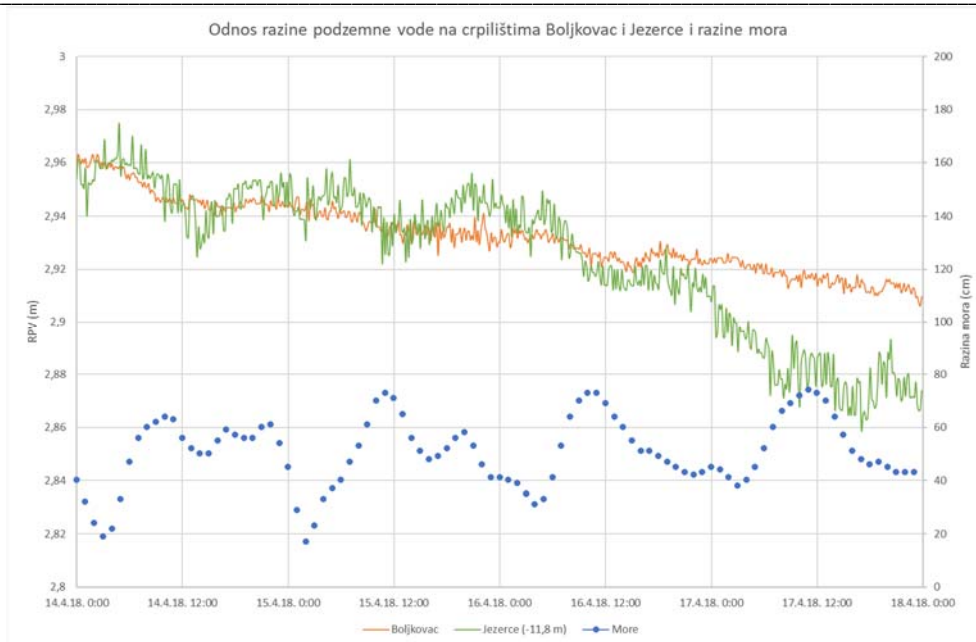


Slika 6.4-1. Odnos razine mora na Golubinki i razine podzemne vode na bušotinama BOK-1 i BOK-2 te količine oborina na postaji Zadar

Na **Slici 6.4-1** prikazan je odnos dnevnih podataka o razini mora i dnevnih podataka o razinama podzemne vode u bušotinama BOK-1 i BOK-2. Kroz cjelokupno razdoblje opažanja analiza linearnog trenda ukazuje na negativan trend razine mora i RPV na bušotinama. Sezonske varijacije na bušotinama je vrlo teško uočiti jer osim utjecaja plime i oseke, odnosno utjecaja promjene razine mora, na priobalni vodonosnik utječe i količina oborina u slivu, kao i količina crpljenja za potrebe javne vodoopskrbe.

Druga analiza rađena je za razdoblje 14.-17. travnja 2018. godine kada na crpilištima Jezerce i Boljkovac nije bilo crpljenja te je to razdoblje uzeto kao referentno za ocjenu odnosa promjene plime i oseke na razine podzemne vode. Prema dobivenim podacima o količinama crpljenja vidljivo je samo jedno razdoblje kada niti jedno crpilište Na **Slici 6.4-2** prikazan je odnos razine podzemne vode na crpilištima Boljkovac i Jezerce i razine mora mjerene na postaji na Golubinki. Za potrebe analize nisu prikazane apsolutne razine podzemne vode već njihovi relativni odnosi jer u slučaju prikaza apsolutnih razina podzemne vode zbog relativno velikih razlika RPV između crpilišta Jezerce i Boljkovac ne bi bile toliko uočljive varijacije razina. Potrebno je napomenuti da je na crpilištu Boljkovac na zdencu B-5 u tom razdoblju bilo crpljeno sa 140 l/s, dok na zdencu B-4 nije bilo crpljeno. Obzirom da se zdenci B-4 i B-5 nalaze vrlo blizu jedan drugome, a da je na zdencu B-5 bilo crpljeno tijekom cijelog razdoblja 14.-17. travnja 2018. godine ovo crpilište nije uključeno u analizu odnosa razine podzemne vode i razine mora.

U promatranom razdoblju crpilište Jezerce je imalo veće varijacije razina podzemne vode i bolje je pratilo promjene razina mora. Na crpilištu Boljkovac te su varijacije bile znatno manje iako je crpilište smješteno bliže moru. To se tumači znatno jačom dinamikom dijela sliva od Bokanjačkog blata prema Zatonu nego dijela sliva od crpilišta Oko prema Boljkovcu, ali i većom otvorenosti geoloških struktura u dijelu sliva prema Bokanjačkom blatu.



Slika 6.4-2. Odnos razine mora na Golubinki i razine podzemne vode na crpilištima Boljkovac i Jezerce

Odnos razina mora i razina podzemne vode na crpilištu Jezerce pokazuje da je kašnjenje promjene razine podzemne vode na crpilištu Jezerce u odnosu na morske mijene oko 10 sati i 40 minuta (Slika 6.4-2). U promatranom razdoblju razine mora su imale rastući trend, dok su razine podzemnih voda bile u fazi snižavanja. Posebno je to vidljivo u zadnjem danu promatranog razdoblja kada su sniženja bila izrazitija. Bez obzira na to, i dalje su se mogle pratiti efekti promjene morskih mijena, ali s nešto manjim intenzitetima. Također, intenziteti morskih mijena bili su oko 20 cm između plime i oseke mjereno na mareografu kod izvora Golubinka, dok je na crpilištu Jezerce ta varijacija razina bila maksimalno 5 cm.

## 7. Prijedlog mjera za smanjenje rizika od potencijalnog zaslanjenja podzemnih voda na području TPV Bokanjac-Poličnik

U Jadranskom vodnom području većina tijela podzemne vode izdvojenih za potrebe izrade PUVP (NN 66/16) ima dijelove priobalnih vodonosnika na kojima povremeno dolazi povećanja saliniteta podzemne vode uslijed narušavanja labilne ravnoteže slane i slatke vode u krškom vodonosniku. Jedan od takvih vodonosnika je krški vodonosnik Bokanjac-Poličnik koji je Planom upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 66/16) izdvojen kao tijelo podzemne vode te je procjenom stanja ocijenjen da je zbog povremenih zaslanjenja u LOŠEM STANJU i U RIZIKU.

Za smanjenje rizika od zaslanjenja na TPV Bokanjac-Poličnik već je polovicom sedamdesetih prošlog stoljeća izgrađena injekcijska zavjesa presijecajući vodonosnik između vodocrpilišta Jezerce i morske obale. Izgrađena je injekcijska zavjesa dužine 1.580 m i dubine od 25 do 45 metara. Obzirom da je kota terena na lokaciji injekcijske zavjese oko 20 m n.m., injekcijska zavjesa je sezala do dubine od 5 do 25 metara ispod srednje razine mora. Pokazalo se je da je dubina te injekcijske zavjese preplitka da bi presjekla duboke tokove i da je njen učinak vrlo mali ili ga nema. Slična su iskustva i sa drugih priobalnih vodonosnika gdje su injekcijske zavjese bile građene sa svrhom sprečavanja zaslanjenja priobalnih vodonosnika jer su uglavnom bile preplitke i nisu sprečavale dotoke zaslanjene vode, te su stoga imale samo ograničeni lokalni utjecaj.

Već devedesetih godina prošlog stoljeća, kada je znatno napredovala tehnika monitoringa podzemnih voda, istraživači su se okrenuli prema kvalitetnom upravljanju priobalnih vodonosnika i postavljanju sustava ranog upozorenja opažanjem vodonosnika po dubini pomoću dubokih piezometarskih bušotina. U početku su sustavi monitoringa bili organizirani pomoću ručnih mjerenja sondama po dubini vodonosnika, a frekvencija mjerenja je obično bila jednom dnevno. Zadnjih desetak godina je tehnika monitoringa znatno napredovala i u bušotine se ugrađuju automatski mjerači i sustavi s telemetrijom.

Na području TPV Bokanjac-Poličnik u sklopu pripreme za operativni monitoring izvedene su četiri piezometarske bušotine dubine oko 60 m ispod srednje razine mora u kojima je postavljen sustav monitoringa vodonosnika po dubini s automatskim mjeračima električne vodljivosti, temperature i razine podzemne vode. U fazi operativnog monitoringa te su se bušotine koristile za prikupljanje podataka o mehanizmima zaslanjenja po dubini vodonosnika, a nakon završetka operativnog monitoringa mogu poslužiti kao mjesta za ugradnju kontrolnih senzora za pojave zaslanjenja kao dio sustava ranog upozorenja.

Tijekom provođenja operativnog monitoringa od prosinca 2017. do kraja rujna 2019. godine zabilježeno je povećanje saliniteta na crpilištima Boljkovac i na izvoru Golubinka dok na vodocrpilištima Jezerce i Bokanjac nije zabilježena pojava povišenja koncentracije klorida. Ranijih godina, u kritičnijim sušnim hidrološkim prilikama, bilo je zabilježeno povećanje koncentracije klorida i na crpilištu Jezerce iznad MDK vrijednosti, a i na Bokanjcu je zabilježeno sezonsko povećanje koncentracija klorida iako su te pojave bile takvih intenziteta da nisu prelazile MDK vrijednosti za pitke vode.

Kako bi se ublažio utjecaj zaslanjenja priobalnih vodonosnika na vodozahvate za vodoopskrbu, propisuju se mjere za smanjenje rizika od zaslanjenja. To je uobičajena aktivnost kod predlaganja sustava upravljanja priobalnim vodonosnicima. Dio se tih mjera odnosi na edukaciju stanovništva, a dio na poboljšanje sustava eksploatacije podzemnih voda. Mjere za smanjenje rizika od zaslanjenja priobalnih vodonosnika koje se koriste u Kanadi, a primjenjive su i u domaćim uvjetima, su (BRITISH COLUMBIA, 2016):

- smanjenje korištenja – edukacija stanovništva za korištenje uređaja za domaćinstvo koji koriste manje količine vode i korištenje sustava navodnjavanja koji koriste manje količine vode,
- smanjenje dubine na kojima se nalaze crpke,
- smanjenje trajanja crpljenja, ali povećati frekvenciju crpljenja – za smanjenje konusa utjecaja zdenaca i okolnog dijela vodonosnika,
- uvođenje kvalitetnog sustava crpljenja – za crpilišta sa više crpnih objekata programirati zdence za crpljenje u različitim vremenima te izbjegavati istovremeno crpljenje,
- povećanje rezervoara za vodu (cisterne, vodospreme, ...) – pojačano crpiti u vodnom razdoblju za korištenje u sušnom razdoblju te koristiti druge izvore kao sakupljanje kišnice,
- smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu – instalacija vodomjera ili nekih drugih indikatora za detekciju gubitaka (npr. suvremenih telemetrijskih sustava) jer mnoga zaslanjenja počinju zbog precrpeljivanja uslijed neregistriranih gubitaka,
- prekid korištenja – ako je određeni crpni objekt pod znatnim utjecajem zaslanjenja može biti neophodno prekinuti njegovo korištenje za neko određeno vremensko razdoblje i korištenje alternativnih izvora.

Slične se mjere provode i na drugim priobalnim vodonosnicima. Na području TPV Bokanjac-Poličnik predlažu se sljedeće mjere:

- edukacija stanovništva za racionalnijim korištenjem voda
- smanjenje gubitaka u vodoopskrbnom sustavu čime se smanjuje količina crpljenja za zadovoljenje potreba za vodom stanovništva i gospodarstva
- ograničenje crpljenja podzemnih voda za potrebe navodnjavanja tijekom ljetnih sušnih razdoblja
- postavljanje kvalitetnog sustava upravljanja vodoopskrbnim sustavom s aktivnim procesuiranjem informacija o stanju hidroloških prilika i kakvoće vode u slivu i podzemnom dijelu vodonosnika.

Edukacija stanovništva za racionalnijim korištenjem voda je preventivna mjera koja samo dugoročno može dati rezultate. Odnosi se na korištenje uređaja za domaćinstvo koji trebaju manje količine vode i korištenje sustava navodnjavanja koji koriste manje količine vode. Takvi uređaji i sustavi obično su znatno skuplji od onih koji su u prosječnoj svakodnevnoj upotrebi. Razlika u cijeni se može prevenirati poticajima za kupnju takvih uređaja i sustava. Također, edukaciju stanovništva je potrebno usmjeriti i na mogućnost ponovnog korištenja voda kao što je npr. mogućnost ponovnog korištenja pročišćene otpadne vode za zalijevanje zelenih površina.

Uobičajeni gubici u vodoopskrbnim sustavima u Hrvatskoj iznose 30 do 50 % ukupno iscrpljene podzemne vode. Gubici iz vodoopskrbnih sustava uzrokuju da je za zadovoljenje istih potreba za vodom potrebno crpiti 30 do 50 % više podzemne vode. Pogotovo je to osjetljivo tijekom ljetnih sušnih razdoblja kada to prekomjerno crpljenje može narušiti i tako labilnu ravnotežu slatke i slane vode u krškom vodonosniku i uzrokovati zaslanjenje dijela vodonosnika. Smanjenje gubitaka je također dugoročna mjera koja zahtijeva velika financijska sredstva, ali neminovna ukoliko se želi racionalno gospodariti s raspoloživim zalihama vode, pogotovo u uvjetima klimatskih promjena i očekivanih daljnjih intenziviranja dugotrajnijih i naglašenijih sušnih prilika.

Ograničenje korištenja podzemne vode za potrebe navodnjavanja tijekom ljetnih sušnih razdoblja je mjera koju s trenutnim stupnjem korištenja podzemnih voda za potrebe navodnjavanja nije potrebno provoditi, ali analizom korištenja zemljišta u okolici Bokanjačkog blata ukazuje se da bi u bližoj budućnosti takva mjera mogla biti vrlo značajna. To ne znači potpuno zabranjivanje korištenja za potrebe navodnjavanja već racionalno korištenje i odabir kultura koje ne zahtijevaju prevelike količine vode za navodnjavanje tijekom ljetnih mjeseci, kao i preraspodjelom korištenja voda za navodnjavanje



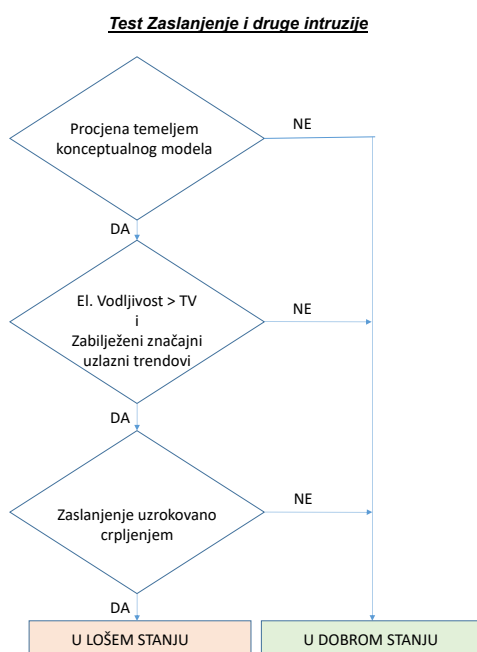
na način da se podzemne vode zahvaćaju i akumuliraju u vodnom dijelu godine, kako bi ih se moglo koristiti u vrijeme sušnih razdoblja kad su razine i dotoci podzemnih voda smanjeni. Racionalno korištenje se odnosi na pravilan odabir načina navodnjavanja kojim će se uz postizanje istog efekta trošiti manje količine vode (navodnjavanje kap na kap i sl.).

Ostale mjere se odnose na sam sustav vodoopskrbe i njihovim se provođenjem omogućava postavljanje kvalitetnog sustava upravljanja vodoopskrbnim sustavom. To uključuje postavljanje sustava monitoringa podzemnih voda s prikazom stanja u stvarnom vremenu kako bi se omogućilo pravovremeno djelovanje i smanjilo rizike od zaslanjenja vodoopskrbnih objekata i dijelova vodonosnika. U takav sustav monitoringa trebalo bi uključiti mjerenje električne vodljivosti, temperature vode i razine podzemne vode na vodoopskrbnim zdencima i prikaz rezultata tih mjerenja u stvarnom vremenu na zaslonima računala u kontrolnoj sobi na vodocrpilištu. Također, sustav je potrebno proširiti i na piezometarske bušotine izvedene uz zdence B-4, Jezerce i Boljkovac kako bi se moglo detektirati potencijalno konusno podizanje zaslanjenje vode iz dubokih dijelova krškog vodonosnika prema zdencima vodocrpilišta. Uz to, takav bi sustav trebao ne samo aktivno pratiti i procesuirati informacije o stanju hidroloških prilika i kakvoće vode u slivu i podzemnom dijelu vodonosnika, nego ih koristiti i za prognozu stanja za predstojeća sezonska razdoblja, kako bi se optimizirao režim zahvaćanja i korištenja voda, te na vrijeme pripremito i preveniralo moguće nastupanje kritičnih hidroloških prilika s mogućim povećanim zaslanjenjima voda na vodozahvatima.

Dio tog sustava je potrebno i automatizirati i povezati sa samim crpkama kako bi se izbjegao ljudski faktor. To uključuje postavljanje automatskih mjerača električne vodljivosti u zdence vodocrpilišta s mogućnosti automatskog prigušenja ili zaustavljanja crpljenja uslijed povišenja vrijednosti električne vodljivosti kao i postavljanje automatskih mjerača električne vodljivosti u piezometarske bušotine na različitim dubinama s mogućnosti automatskog prigušenja ili zaustavljanja crpljenja uslijed povišenja vrijednosti električne vodljivosti kako bi se spriječilo zaslanjenje vodoopskrbnog zdenca ili smanjio utjecaj zaslanjenja na normalno funkcioniranje vodoopskrbe. Takav sustav operativnog upravljanja podrazumijeva i izradu matematičkih hidroloških modela međuodnosa stanja u slivu (oborina, temperatura, protoka i razina podzemnih voda na odabranim lokalitetima) i stanja hidroloških prilika i kakvoće vode/sadržaja klorida na vodozahvatima.

## 8. Prijedlog kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja u priobalnim krškim vodonosnicima

U sklopu izrade studije procjene stanja i rizika podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj (BIONDIĆ, R. et al., 2016), kao pripreme studije za izradu Plana upravljanja vodnim područjima (NN 66/16) izrađen je prijedlog metodologije za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja u priobalnim krškim vodonosnicima. Ta se je metodologija odnosila na Test zaslanjenje i druge intruzije koji se provodi i za kvalitativnu i kvantitativnu procjenu stanja podzemnih voda kao jedan od šest klasifikacijskih testova koji se provode na svakom tijelu podzemne vode. Za konačan rezultat procjene stanja uzima se najgori rezultat iz svih pojedinačnih testova na način da se najgori rezultat pojedinačnih testova za kvantitativno stanje podzemnih voda izvještava kao konačno kvantitativno stanje, odnosno najgori rezultat pojedinačnih testova za kvalitativno stanje podzemnih voda se izvještava kao konačno kvalitativno stanje.



Slika 8-1. Test Zaslanjenje i druge intruzije (BIONDIĆ, R. et al., 2016)

Za potrebe procjene stanja kakvoće tijela podzemne vode za izradu PUV (NN 66/16) korištena je metodologija testa koji se provodi u tri koraka (Slika 8-1) (BIONDIĆ, R. et al., 2016):

1. Temeljem izrađenog konceptualnog modela TPV procjenjuje se mogućnost zaslanjenja ovisno o otvorenosti geoloških struktura prema utjecaju mora, odnosno geološkim odnosima u slivu koji mogu utjecati na neke druge intruzije. Ukoliko takvih mogućnosti nema TPV je *U DOBROM STANJU*.
2. Ako mogućnost zaslanjenja postoji, analizira se vrijednost električne vodljivosti. Granična vrijednost (TV) je za test zaslanjenja postavljena na 50 % vrijednosti standarda za pitku vodu kako bi potencijalna intruzija zaslanjene vode mogla biti identificirana znatno ranije nego što postane problem za ljudsku potrošnju. Ukoliko nema povišenih prosječnih koncentracija i nema zabilježenih statistički značajnih uzlaznih trendova, TPV se ocjenjuje *U DOBROM STANJU*. Ako je električna vodljivost na razini TPV za razmatrano razdoblje veća od graničnih vrijednosti, ili su zabilježeni statistički značajni uzlazni trendovi, prelazi se na korak 3 ovoga testa.

3. Zadnji korak testa je analiza da li je zaslanjenje uzrokovano antropogenim utjecajem ili je prirodno. Pod antropogenim utjecajem misli se na prekomjerno crpljenje koje u uvjetima vrlo labilne ravnoteže slatke i slane vode u podzemlju može narušiti tu ravnotežu i uzrokovati pojavu zaslanjenja priobalnog vodonosnika. Ti se događaji obično dešavaju tijekom ljetnih sušnih razdoblja kada je uz dugotrajno sušno razdoblje i smanjene dotoke podzemne vode iz zaleđa dodatni element koji utječe na zaslanjenje i povećanje potreba za crpnim količinama zbog dolaska turista u priobalna područja. Pri toj ocjeni razmatraju se količinski utjecaji hidroloških prilika na stanje u vodonosniku, pri čemu se provode procjene globalnih bilančnih pokazatelja i odstupanja od njih obzirom na stanja pojedinih analiziranih godina. Ako se utvrdi da crpljenje ne utječe na povećanje električne vodljivosti, TPV je *U DOBROM STANJU*. U suprotnom, TPV je *U LOŠEM STANJU*.

Za određivanje stanja tijela podzemne vode određene su granične vrijednosti parametara kakvoće. Za kriterije korištenja postavljene su granične vrijednosti za otopljeni kisik, pH, električnu vodljivost, nitrate, amonij, pesticide, arsen, olovo, živu, kadmij, kloride, sulfate, ortofosfate i zbroj trikloretena i tetrakloretena. Dodatno, za Test zaslanjenje i druge intruzije, kao okolišni kriterij, određena je jedino granična vrijednost za električnu vodljivost koja je izdvojena kao jedini indikativni parametar za definiranje stanja podzemne vode po ovom testu. Granična vrijednost (TV) iznosi 1,25 mS/cm što je polovica granične vrijednosti električne vodljivosti za pitke vode čime se omogućava preventivno djelovanje i identifikacija problema prije nego što postane problem za korištenje tog vodonosnika za potrebe javne vodoopskrbe.

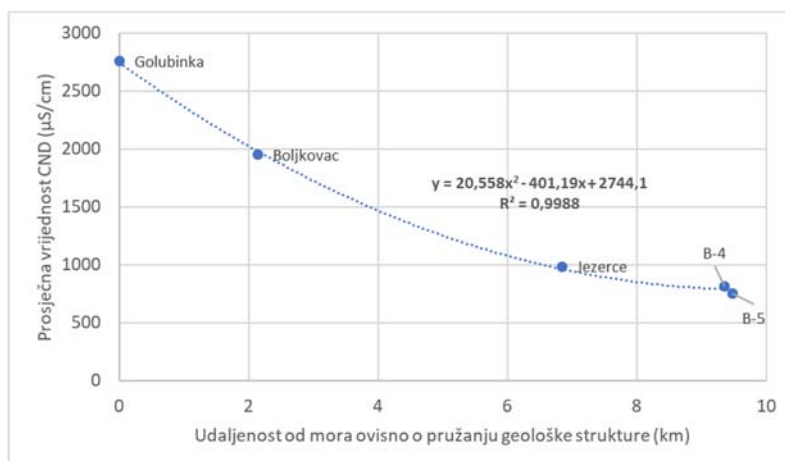
Za potrebe izrade PUVP (NN 66/16) određene su pozadinske vrijednosti (BL) za krško područje Republike Hrvatske temeljem rezultata kemijskih analiza sa svih točaka opažanja podzemne vode (Nacionalni nadzorni monitoring + Monitoring sirove vode crpilišta) koje zadovoljavaju uvjete statističke analize. S obzirom da je građa krških vodonosnika vrlo slična, a i uvjeti i dinamika tečenja podzemnih voda po TPV je vrlo slična, BL je određen na razini cijelog krškog područja. Dodatni razlog za određivanje BL na razini cijelog krškog područja je i relativno ograničen broj točaka i analiza koje zadovoljavaju gornje uvjete. BL je određen za samo dio parametara kakvoće obrađenih u analizi stanja kakvoće po TPV jer za ostale opažane parametre izdvojene točke monitoringa nisu zadovoljavale gore navedene kriterije. Između ostalih određena je pozadinska vrijednost električne vodljivosti koja je iznosila 487  $\mu$ S/cm. To je vrijednost električne vodljivosti za prosječan krški vodonosnik na kojem nema utjecaja zaslanjenja.

Svaka viša vrijednost električne vodljivosti uzrokovana je ili lokalnim uvjetima u slivu kao što je npr. velika površina sliva izgrađena od klastičnih naslaga što uzrokuje količinu suspendiranog materijala i povećava vrijednost električne vodljivosti podzemne vode ili je ta povišena vrijednost električne vodljivosti uzrokovana utjecajem zaslanjenja. U TPV Bokanjac-Poličnik vrijednosti električne vodljivosti u podzemnim vodama su na lokacijama nekih vodocrpilišta povišene u odnosu na BL čak i nekoliko puta.

Korak 1 klasifikacijskog Testa zaslanjenje i druge intruzije čini procjena ovisno o otvorenosti geoloških struktura i mogućnosti intruzije mora. U ovaj korak je potrebno uvesti i dodatnu analizu po točkama monitoringa sa naznačenim prosječnim vrijednostima električne vodljivosti i pozadinskoj vrijednosti električne vodljivosti u tom TPV, odnosno izračunatoj BL za krško područje. Za vodocrpilišta na području TPV Bokanjac-Poličnik uključena u operativni monitoring prosječne vrijednosti električne vodljivosti su prikazane u **tablici 8-1** te na **slici 8-2**. Iz njih je vidljivo da na analiziranom TPV Bokanjac-Poličnik postoji vrlo čvrsta povezanost između spomenutih pokazatelja.

Tablica 8-1. Prikaz istraživanih međudnosa položaja vodozahvata i prosječne vrijednosti električne vodljivosti tijekom razdoblja operativnog monitoringa

Vodocrpilište	Udaljenost od mora ovisno o pružanju geoloških struktura (km)	Pozadinska vrijednost električne vodljivosti (BL) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Prosječna vrijednost električne vodljivosti ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
B-5	9,48	487	752
B-4	9,36	487	816
Jezerce	6,84	487	986
Boljkovac	2,14	487	1950
Golubinka	0,00	487	2760



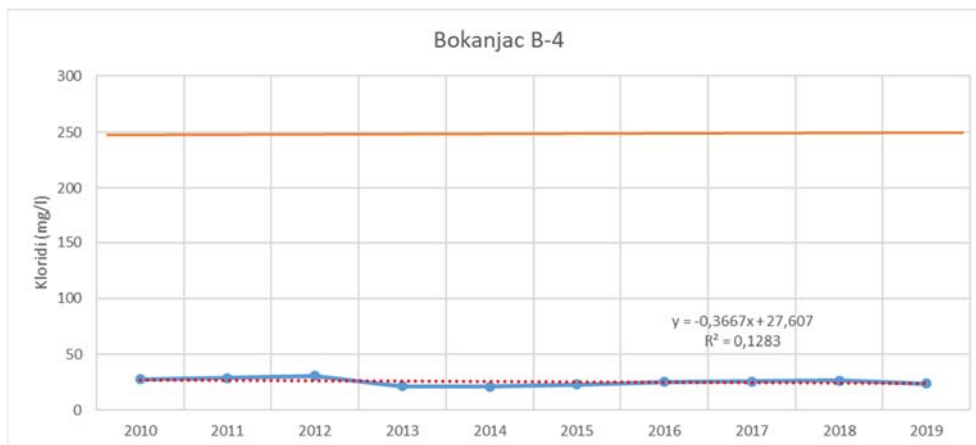
Slika 8-2. Prikaz međudnosa između vrijednosti prosječne električne vodljivosti i udaljenosti od mora na TPV Bokanjac – Poličnik

Ovom analizom evidentno je da vodocrpilišta bliže morskoj obali imaju više vrijednosti prosječne električne vodljivosti, dok je udaljavanjem od mora ta vrijednost niža. Izvorište Golubinka smješteno je na samoj obali, i režim njegovog zaslanjivanja nije vezan uz utjecaj crpljenja, nego je to prirodna posljedica njegova položaja i otvorenosti njegova vodonosnika prema moru, tako da su se zaslanjivanja voda koje istječu na tom izvoru redovito događala tijekom malovodnih razdoblja i prije njegova kaptiranja i uključivanja u vodoopskrbu. Povećane vrijednosti sadržaja klorida, a time i električne vodljivosti na tom izvoru, mogu biti lokalno i kratkotrajno (dok traje samo crpljenje) uvjetovane i povećanim crpljenjima na vodozahvatu. No, to se događa u uvjetima kada je dinamika istjecanja na cijelom sustavu već narušena smanjenim prilivom slatkih voda iz udaljenijih kopnenih dijelova vodonosnika te spomenuti izvor iz tih razloga i nije uključen u predmetne ocjene kriterija za testove i ocjene rizika od zaslanjivanja pripadajućeg TPV uslijed njegova precrpljivanja. Predloženi kriteriji se odnose na vodozahvate koji su udaljeniji od mora, kod kojih se kontakt slatke i slane vode odvija unutar dubljih dijelova vodonosnika. Čak i gotovo 10 km od obale mora može se primijetiti lagani utjecaj zaslanjenja, odnosno povišene vrijednosti električne vodljivosti u odnosu na pozadinske vrijednosti. Ukoliko je situacija da su vrijednosti povišene u odnosu na BL prelazi se na Korak 2 Testa zaslanjenje i druge intruzije.

Za Korak 2 Testa zaslanjenje i druge intruzije provode se dvije dodatne analize. U prvoj se analiziraju podaci o koncentracijama klorida prikupljeni iz laboratorija vodovoda koji upravljaju tim crpilištima za zadnjih 10 godina, a u drugoj se provode detaljnije analize temeljem rezultata monitoringa u najmanjem trajanju od jedne godine ukoliko su takvi podaci dostupni.

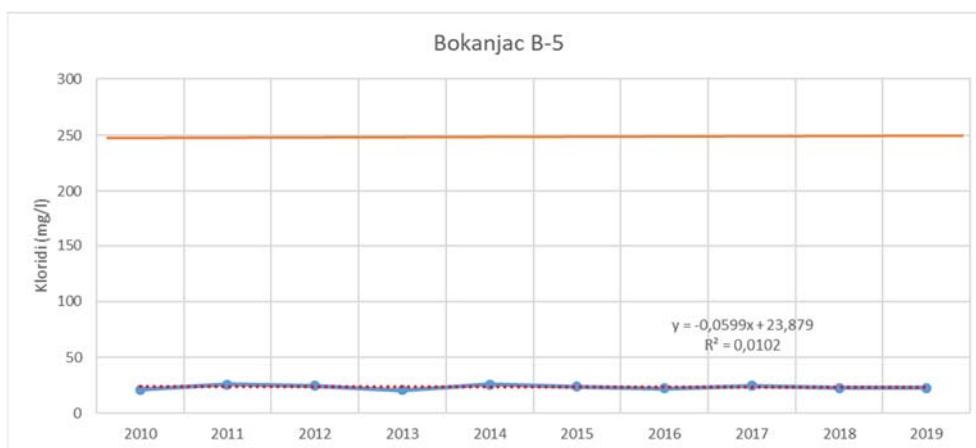
U nastavku su prikazani primjeri tih analiza na vodocrpilištima na području TPV Bokanjac-Poličnik. Prva analiza se odnosi na razdoblje od 2010. do kraja rujna 2019. godine, a analizirane su mjerene koncentracije klorida u zdencima vodocrpilišta. Izračunate su prosječne godišnje koncentracije klorida

temeljem svih analiza koje je proveo laboratorij Vodovoda Zadar. Te su vrijednosti analizirane pomoću Mann-Kendallovog testa kako bi se odredilo da li koncentracije klorida imaju značajan uzlazni trend.



Slika 8-2. Analiza višegodišnjeg trenda prosječnih koncentracija klorida na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac

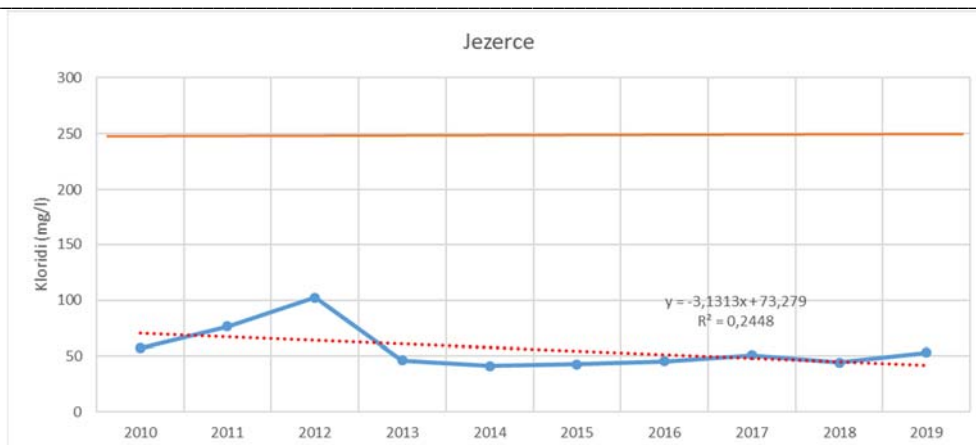
Koncentracije klorida na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac su bile ujednačenih vrijednosti (Slika 8-2), a prosječna vrijednost za razdoblje od 2010. do 2019. godine iznosila je 25,6 mg/L. Mann-Kendallovim testom je dokazano da nema značajnog trenda.



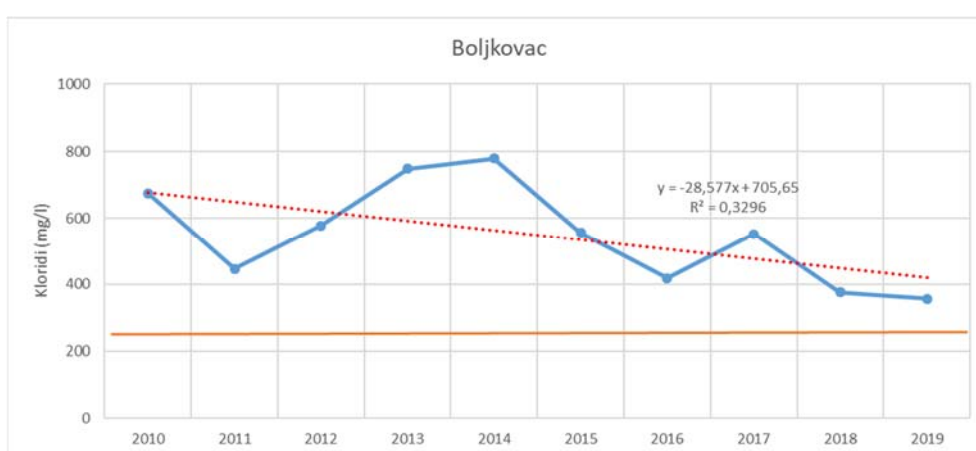
Slika 8-3. Analiza višegodišnjeg trenda prosječnih koncentracija klorida na zdencu B-5 vodocrpilišta Bokanjac

Koncentracije klorida na zdencu B-5 vodocrpilišta Bokanjac su bile ujednačenih vrijednosti (Slika 8-3), a prosječna vrijednost za razdoblje od 2010. do 2019. godine iznosila je 3,5 mg/L. Mann-Kendallovim testom je dokazano da nema značajnog trenda.

Na vodocrpilištu Jezerce nisu toliko ustaljene prosječne godišnje vrijednosti kroz cjelokupno razdoblje od 2010. do 2019. godine, ali nije zabilježen značajan trend (Slika 8-4). Razlog tome su hidrološke prilike koje su bile karakterizirane izrazito sušnim razdobljem 2011.-2012., te su uvjetovale povišenje prosječnih godišnjih koncentracija klorida u početnom dijelu analiziranog razdoblja za kojeg je računat trend. Prosječna koncentracija klorida za 2012. godinu iznosila je 102,1 mg/L što je više od dvostruko u odnosu na razdoblje od 2013. do 2016. godine. Veće prosječne godišnje koncentracije klorida tijekom 2011. i 2012. godine rezultat su nešto jačeg utjecaja zasljenjenja na crpilište Jezerce u tom razdoblju. Mann-Kendallovim testom je dokazano da nema značajnog trenda.

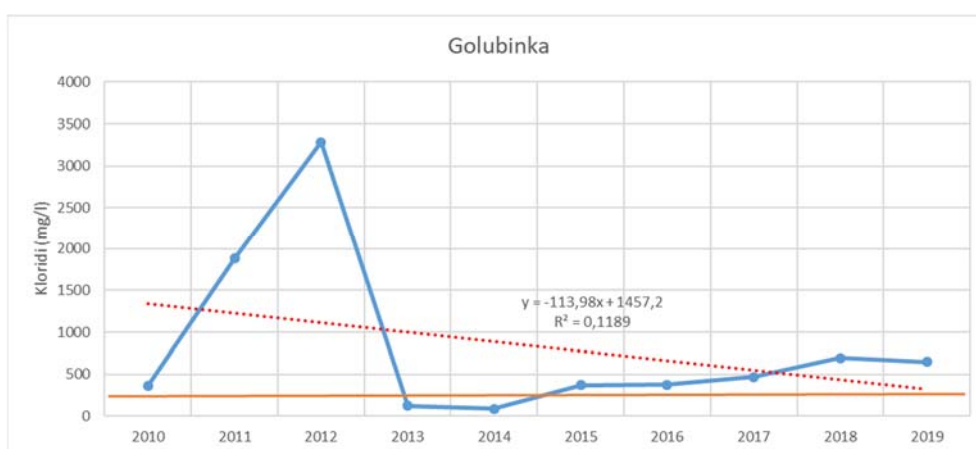


Slika 8-4. Analiza višegodišnjeg trenda prosječnih koncentracija klorida na vodocrpilištu Jezerce



Slika 8-5. Analiza višegodišnjeg trenda prosječnih koncentracija klorida na vodocrpilištu Boljkovac

Na vodocrpilištu Boljkovac utjecaj zaslanjenja je još izraženiji i kroz cjelokupno analizirano razdoblje prosječne godišnje koncentracije klorida su bile više od granične vrijednosti (TV) (Slika 8-5). Mann-Kendallov test je pokazao da se radi o značajno padajućem trendu. Razina zaslanjenja je ovisila o hidrološkim uvjetima i količini crpljenja na zdencu vodocrpilišta. Prosječna vrijednost koncentracije klorida za razdoblje od 2010. do 2019. godine iznosila je 549 mg/L.

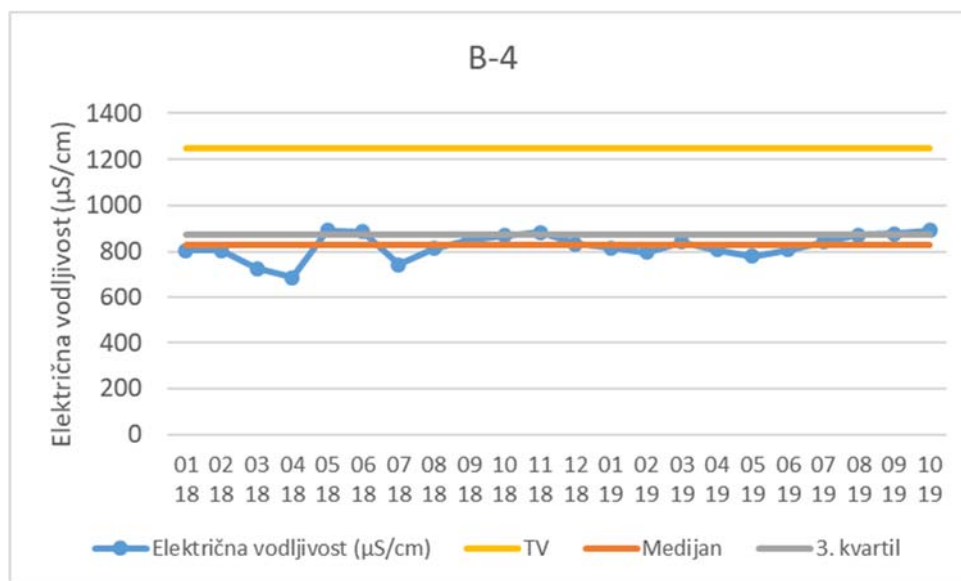


Slika 8-6. Analiza višegodišnjeg trenda prosječnih koncentracija klorida na vodocrpilištu Golubinka

Na izvoru Golubinka koji se nalazi na samoj morskoj obali koncentracije klorida su u maksimalnim vrijednostima izrazito visoke dok tijekom vodnih razdoblja koncentracije klorida padaju i ispod graničnih vrijednosti (Slika 8-6). Prosječna vrijednost koncentracije klorida za razdoblje od 2010. do 2019. godine iznosila je 830 mg/L.

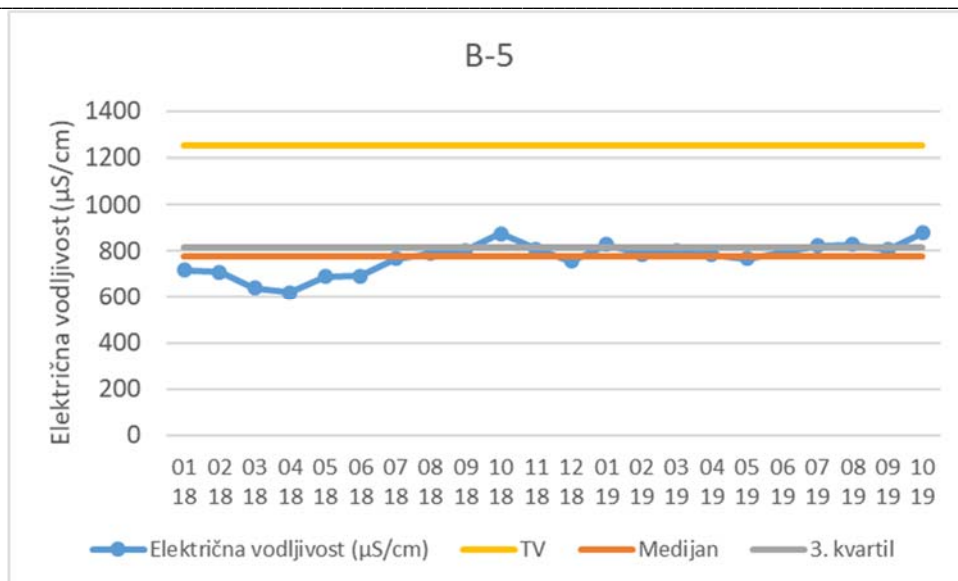
U drugoj analizi su obrađeni podaci operativnog monitoringa od početka 2018. godine do kraja kolovoza 2019. godine na način da su izračunate prosječne vrijednosti električne vodljivosti za mjesečna razdoblja. Na taj način su generalizirane značajke pojedinačnih uzorkovanja vrijednosti i njihova varijabilnost. Također, izračunate su vrijednosti medijana i trećeg kvartila temeljem prosječnih dnevnih vrijednosti električne vodljivosti, kako bi se unutar njih, kao i granice TV pratila raspodjela zabilježenih prosječnih mjesečnih vrijednosti sadržaja klorida. Kao mjerila stanja zasljenosti pojedinih izvorišta, izdiferencirana su tri stupnja gradacije toga stanja:

- Ako su i medijana i 3. kvartil ispod granice TV – u danim hidrološkim prilikama TPV je u DOBROM STANJU u pogledu utjecaja zasljenjivanja na kakvoću zahvaćenih voda za vodoopskrbu
- Ako je medijana ispod granice TV, a 3.kvartil iznad, u danim hidrološkim prilikama TPV je U DOBRO STANJU u pogledu utjecaja zasljenjivanja na kakvoću zahvaćenih voda za vodoopskrbu, ali s prisutnim RIZIKOM POGORŠANJA
- Ako su i medijana i 3.kvartil iznad TV, u danim hidrološkim prilikama TPV je u LOŠEM STANJU.



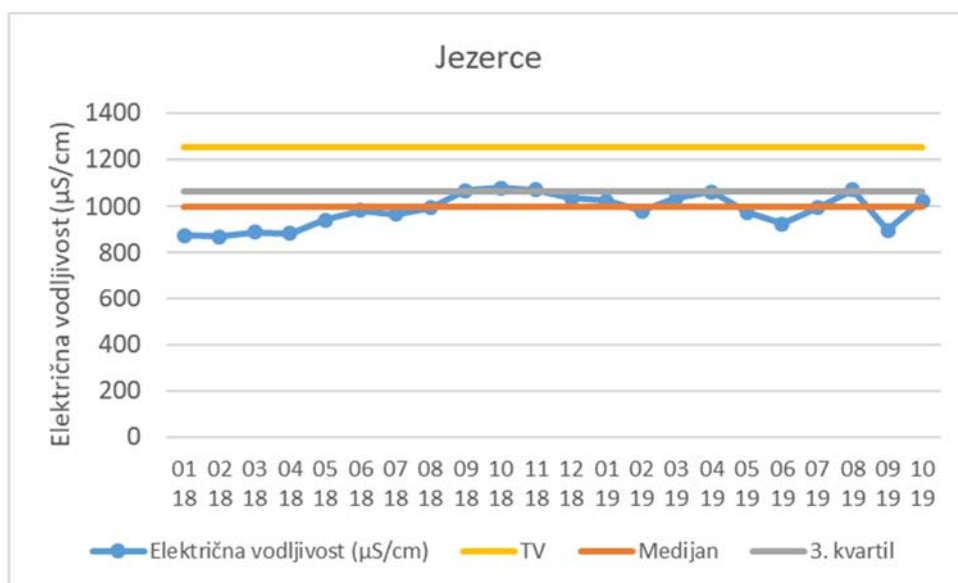
Slika 8-7. Analiza hoda električne vodljivosti na zdencu B-4 tijekom operativnog monitoringa

Na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac medijan prosječnih dnevnih vrijednosti električne vodljivosti za razdoblje provođenja operativnog monitoringa iznosio je 829  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a treći kvartil 875  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Slika 8-7). To su niže vrijednosti od granične vrijednosti TV, ali značajno više od pozadinskih vrijednosti za krške vodonosnike (487  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



Slika 8-8. Analiza hoda električne vodljivosti na zdenku B-5 tijekom operativnog monitoringa

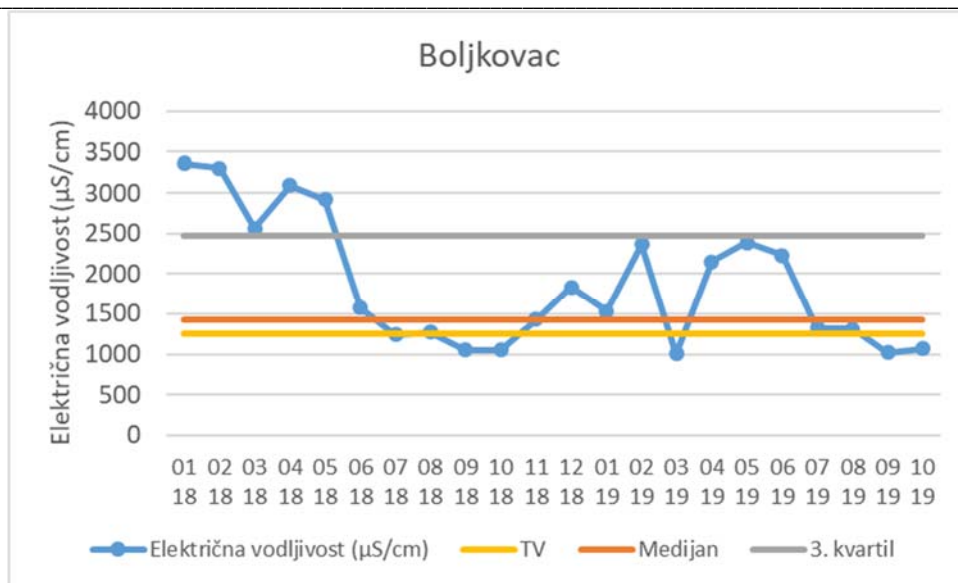
Na zdenku B-5 vodocrpilišta Bokanjac medijan prosječnih dnevnih vrijednosti električne vodljivosti za razdoblje provođenja operativnog monitoringa iznosio je 778  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a treći kvartil 817  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Slika 8-8). To su niže vrijednosti od granične vrijednosti TV, ali značajno više od pozadinskih vrijednosti za krške vodonosnike (487  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Vrijednost električne vodljivosti je nešto niža nego na B-4 što se može tumačiti različitim dinamikama crpljenja, ali i time da je B-5 udaljeniji od mora i da je stoga na njemu nešto manji utjecaj zaslanjenja.



Slika 8-9. Analiza hoda električne vodljivosti na vodocrpilištu Jezerce tijekom operativnog monitoringa

Na vodocrpilištu Jezerce medijan prosječnih dnevnih vrijednosti električne vodljivosti za razdoblje provođenja operativnog monitoringa iznosio je 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a treći kvartil 1062  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Slika 8-9). To su nešto niže vrijednosti od granične vrijednosti TV, ali značajno više od pozadinskih vrijednosti za krške vodonosnike (487  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Vodocrpilište Jezerce se nalazi bliže moru od zdenaca B-4 i B-5 vodocrpilišta Bokanjac te je na njemu utjecaj zaslanjenja još izraženiji.





Slika 8-10. Analiza hoda električne vodljivosti na vodocrpilištu Boljkovac tijekom operativnog monitoringa

Na vodocrpilištu Boljkovac su tijekom trajanja operativnog monitoringa prosječne mjesečne vrijednosti električne vodljivosti bile uglavnom više od granične vrijednosti (TV) (Slika 8-10). To govori da je utjecaj zasljanjenja na ovo vodocrpilište najizraženiji u odnosu na ostala analizirana vodocrpilišta. Medijan vrijednosti električne vodljivosti za razdoblje provođenja operativnog monitoringa iznosio je 1433  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a treći kvartil 2466  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . To su vrijednosti koje su više od granične vrijednosti (TV).

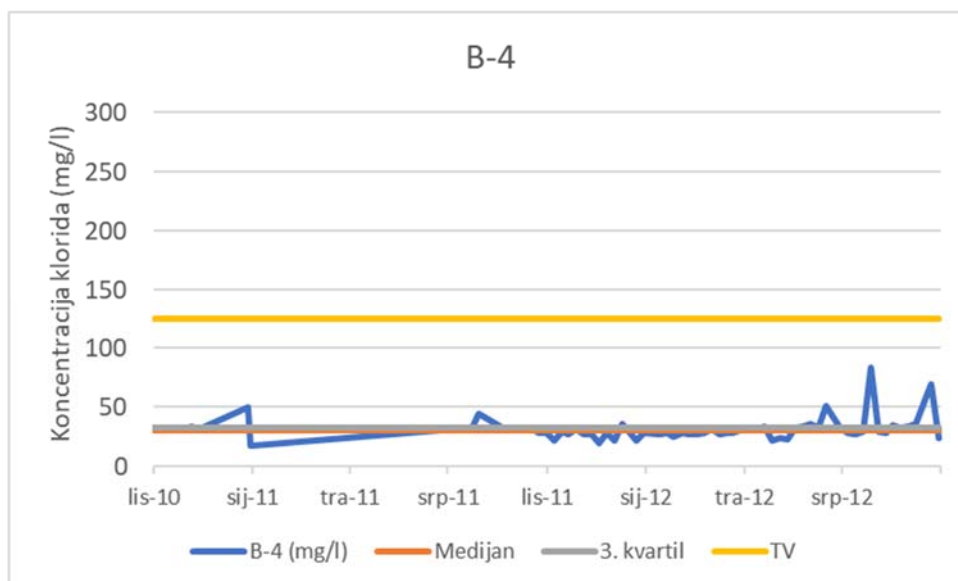
Obzirom da su hidrološke prilike na izvorima tijekom dvije godine operativnog monitoringa bile povoljnije od nekih ranije zabilježenih kritičnih stanja, po danim kriterijima jedino je izvoriste Boljkovac ocijenjeno da je u LOŠEM STANJU, dok su ostala izvorišta (osim izvorište Golubinka koje prirodno zasljanjuje) okarakterizirana da su u DOBROM STANJU, te da kod nijednog od njih nije utvrđen prisutan rizik od pogoršanja stanja u danim hidrološkim prilikama.

Zbog toga je potrebno istražiti i utjecaj hidroloških prilika na spomenute ocjene stanja, odnosno unutar dulje vremenske skale (od posljednjih 10 godina) izdvojiti samo one hidrološke godine koje su po bilančnim pokazateljima (najpoželjniji hidrološki pokazatelj bile bi razine podzemnih voda referentnom piezometru analiziranog područja, no kako je raspoloživi niz podataka na novoizvedenim piezometrima kratak i ne proteže seže na razdoblje od 10 godina unatrag, onda ga do osiguranja raspoloživog niza podataka mogu zamijeniti zabilježeni protoci na referentnim postajama istjecanja podzemnih voda, ili pak oborine u nedostatku ovih prethodno spomenutih rezultata hidroloških praćenja) bile iznad 3. kvartila, te koristeći podatke o sadržajima klorida tijekom samo tih godina, utvrditi kakvo je stanje, te da li postoji rizik od njegova pogoršanja.

Kao dvije izrazito najsušnije godine u razdoblju od proteklih deset godina izdvojene su, na temelju oborinskih podataka, hidrološke godine 2010./11. i 2011./12. godina, odnosno razdoblje analize je provedeno za razdoblje od 1. listopada 2010. do 30. rujna 2012. godine. Hidrološke godine umjesto kalendarskih su odabrane zato što bolje i cjelovitije reprezentiraju unutargodišnji ciklus punjenja i pražnjenja vodonosnika, jer na stanje u ljetnom sušnom razdoblju kad su potrebe za vodom najveće, utječu ne samo oborine pale u početnom kalendarskom dijelu godine, nego i one koje su pale tijekom prethodnog jesenskog razdoblja.

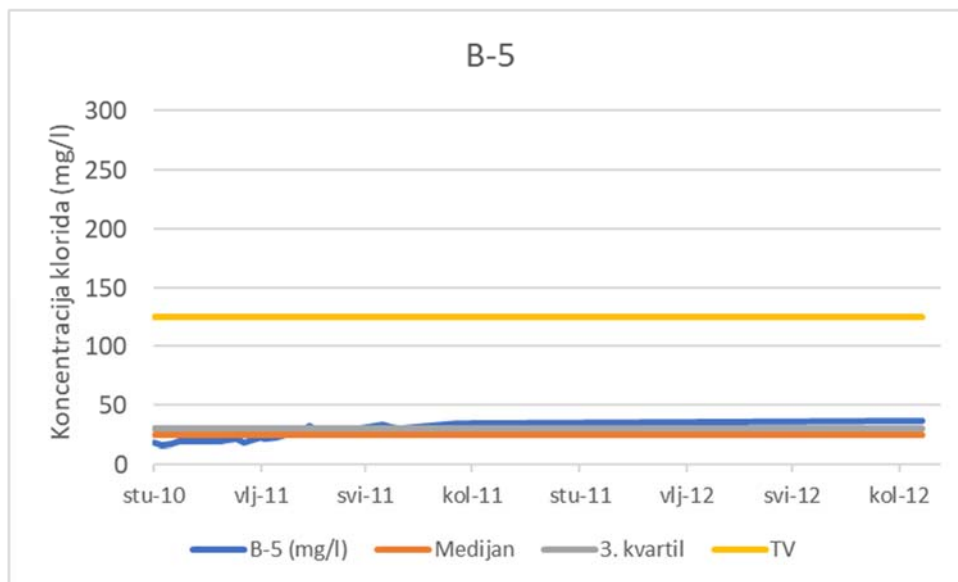
Obzirom da koncentracije klorida imaju graničnu vrijednost od 250 mg/l, a za okolišni kriterij, odnosno za Test zasljanjenje i druge intruzije nije posebno postavljan kao dodatni parametar ovom studijom predlaže se da se koncentracije klorida uvrste kao okolišni parametar. Također, predlaže se da se

granična vrijednost za potrebe određivanja stanja priobalnih vodonosnika postavi, po analogiji kao za električnu vodljivost, na 50 % granične vrijednosti za korištenje za vodu za ljudsku potrošnju, odnosno na 125 mg/L. U nastavku su analize rađene sa graničnom koncentracijom klorida od 125 mg/L i temeljem te granične vrijednosti su izrađene procjene stanja.



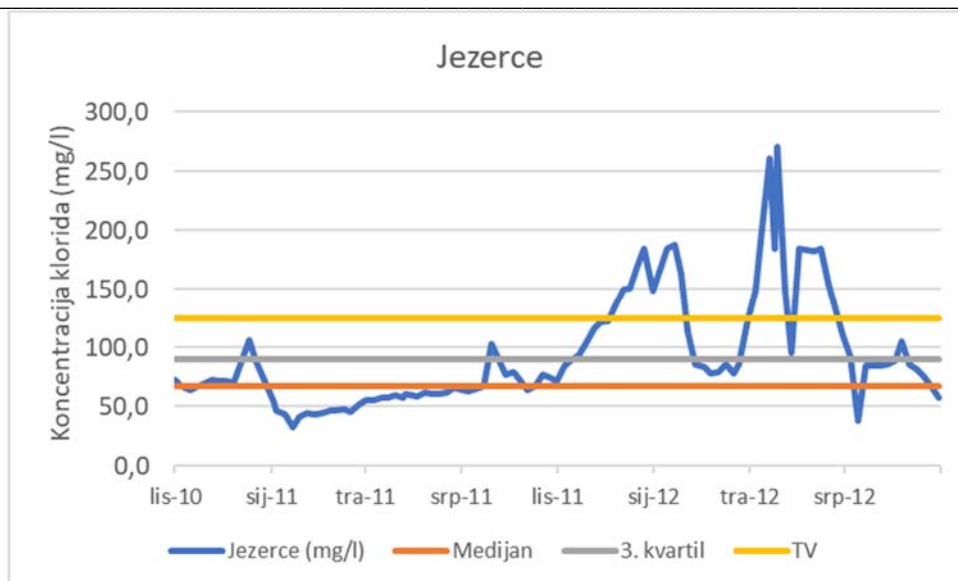
Slika 8-11. Analiza hoda koncentracija klorida na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac za razdoblje 1.10.2010.-30.9.2012.

Za razdoblje od listopada 2010. do kraja rujna 2012. godine medijana koncentracija klorida na zdencu B-4 vodocrpilišta Bokanjac iznosila je 30,0 mg/L, a vrijednost trećeg kvartila 32,0 mg/L (Slika 8-11). To su znatno niže vrijednosti od TV za kloride (125 mg/L).



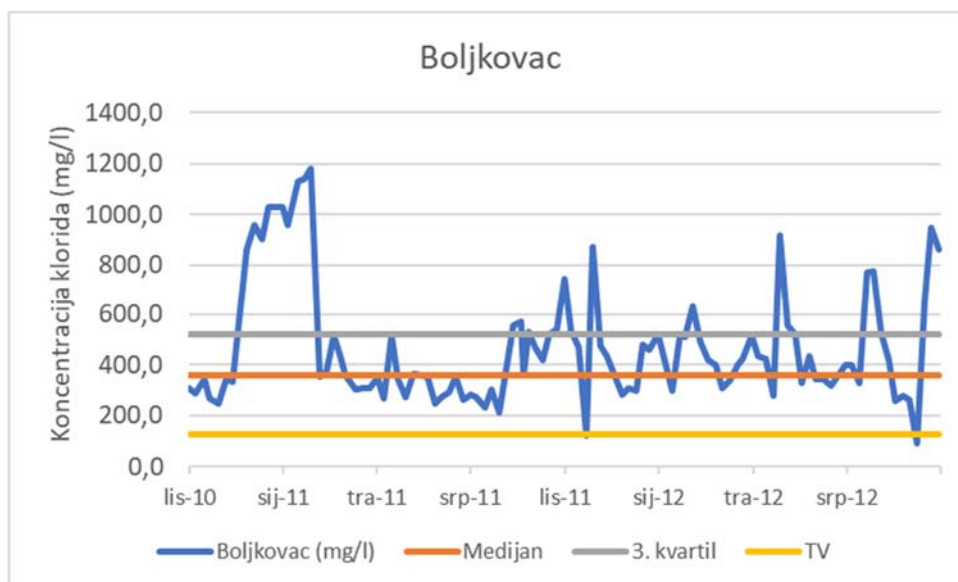
Slika 8-12. Analiza hoda koncentracija klorida na zdencu B-5 vodocrpilišta Bokanjac za razdoblje 1.10.2010.-30.9.2012.

Za razdoblje od listopada 2010. do kraja rujna 2012. godine medijana koncentracija klorida na zdencu B-5 vodocrpilišta Bokanjac iznosila je 25,0 mg/L, a vrijednost trećeg kvartila 30,0 mg/L (Slika 8-12). To su znatno niže vrijednosti od TV za kloride (125 mg/L).



Slika 8-13. Analiza hoda koncentracija klorida na vodocrpilištu Jezerce za razdoblje 1.10.2010.-30.9.2012.

Za razdoblje od listopada 2010. do kraja rujna 2012. godine medijana koncentracija klorida na vodocrpilištu Jezerce iznosila je 67,0 mg/L, a vrijednost trećeg kvartila 89,5 mg/L (Slika 8-13). To su niže vrijednosti od TV za kloride (125 mg/L), ali dvostruko više od koncentracija na zdencima B-4 i B-5 vodocrpilišta Bokanjac. Na vodocrpilištu Jezerce zabilježeno je u referentnom razdoblju nekoliko razdoblja kada je koncentracija klorida bila viša od TV. To su razdoblje od 25. studenoga 2011. do 26. siječnja 2012. te razdoblje od 30. ožujka 2012. do 15. lipnja 2012. uz kratkotrajno sniženje koncentracije klorida početkom svibnja 2012. godine.



Slika 8-14. Analiza hoda koncentracija klorida na vodocrpilištu Boljkovac za razdoblje 1.10.2010.-30.9.2012.

U referentnom razdoblju od listopada 2010. do kraja rujna 2012. godine gotovo sve analize koncentracija klorida bile su više od granične vrijednosti (TV). Medijana koncentracija klorida na vodocrpilištu Boljkovac iznosila je 360 mg/L, a vrijednost trećeg kvartila 522 mg/L (Slika 8-14)

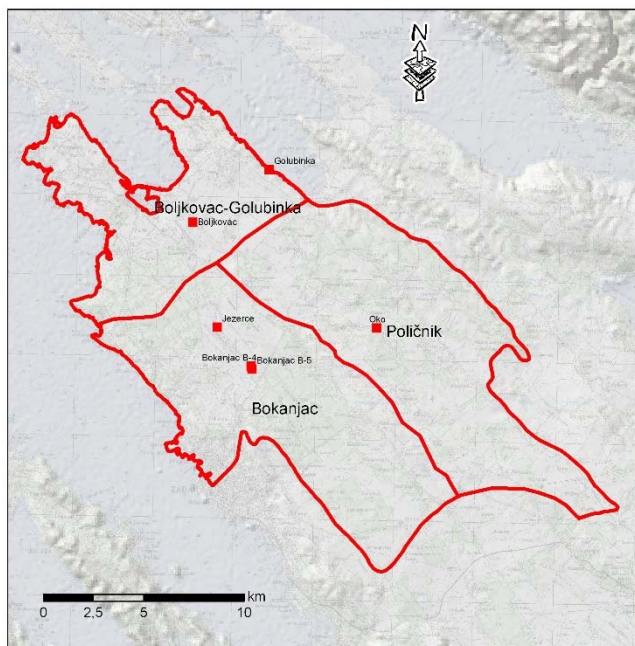
Prema rezultatima tako provedenih analiza, stanje TPV za vodozahvate B-4 i B-5 ocijenjeno je kao DOBRO STANJE. Vodocrpilište Jezerce se nalazi u graničnim uvjetima jer za razdoblje od početka listopada 2011. do kraja rujna 2012. godine, tijekom izrazito sušne godine, medijana koncentracije

klorida je iznosila 143 mg/L, a treći kvartil 164,8 mg/L što su vrijednosti više od granične vrijednosti i svrstavaju ovo crpilište u LOŠE STANJE.

Na taj način, s predloženim dodatnim kriterijima izbora mjerodavnih razdoblja i određivanja graničnih pokazatelja za ocjenu stanja, moguće je realnije procijeniti stanje i rizike od zasljanjivanja, i to ne na temelju nekih izdvojenih pojedinačnih uzorkovanja, nego cjelokupnog skupa rezultata koji definiraju neko statističko obilježje analiziranog skupa (medijana, gornji kvartil).

Uz unaprjeđenje kriterija za samu ocjenu stanja na analiziranom području TPV Bokanjac – Poličnik, važno je istaći da su provedeni istražni radovi na analiziranom području rezultirali i uspostavom sustava piezometara za praćenje stanja podzemnih voda u dubljim dijelovima vodonosnika čijim će se kontinuiranim mjerenjima osigurati kvalitetni hidrološki pokazatelji dinamike kolebanja podzemnih voda u smislu ocjene sušnosti hidroloških prilika i izbora mjerodavnih godina za provedbu predloženih testiranja (u danom slučaju razine vode), kao i rani sustav uzbunjivanja u smislu osiguranja pravovremenih informacija o kakvoći voda/električnoj provodljivosti u dubljim dijelovima vodonosnika, pri čemu se kao kritična upozoravajuća vrijednost predlaže TV.

Za korak 3 Testa Zasljanjenje i druge intruzije antropogeni utjecaj na događaj zasljanjenja moguće je identificirati analizom međudnosa hidroloških prilika na širem slivnom području, količine istjecanja površinskih i podzemnih voda, dinamike kolebanja razina podzemnih voda i električne vodljivosti po njihovoj dubini, kao i samih crpni količina na pojedinačnim objektima crpilišta i električne vodljivosti crpljene vode na tim istim objektima. Obično nema tako detaljnih podataka već se mjerenje električne vodljivosti na crpilištima provodi na dnevnoj osnovi, osim na najvećim crpilištima gdje su postavljeni instrumenti za kontinuirano mjerenje električne vodljivosti. Analizom samih crpljenja i mjerenjem električne vodljivosti na crpnom objektu dobivaju se određena saznanja da li je zasljanjenje uzrokovano antropogenim utjecajem. Za kvalitetniju analizu potrebno je izraditi piezometarske bušotine i opremiti ih automatskim mjeracima električne vodljivosti po dubini vodonosnika, kao i pratiti stanje hidroloških prilika na cjelokupnom slivnom području. Usporedna analiza crpljenja i električne vodljivosti je u sklopu ove studije izrađena temeljem podataka operativnog monitoringa i prikazana u poglavlju 6.



Slika 8-9. Osnovne hidrogeološke jedinice (OTPV) na području TPV Bokanjac-Poličnik

U slučaju da je procjenom stanja ustanovljeno da se TPV nalazi u LOŠEM stanju ovisno o Testu Zaslanjenje i druge intruzije, kako se ne bi propisivale mjere za cjelokupno područje TPV, predlaže se podjela TPV na manje jedinice ukoliko za to postoje dostatna istraživanja. Tako je npr. TPV Bokanjac-Poličnik moguće podijeliti na tri hidrogeološke jedinice (Slika 8-9):

- OTPV Bokanjac
- OTPV Poličnik
- OTPV Boljkovac-Golubinka

U slučaju da su dosadašnja istraživanja dostatna za podjelu na manje hidrogeološke jedinice analiza stanja i rizika se provodi na svakoj od izdvojenih osnovnih hidrogeoloških jedinica, a mjere se propisuju samo za one koje su nakon nove procjene stanja u lošem stanju.

Dani prijedlog unaprjeđenja/nadopune metodologije za ocjenu stanja razrađen je na primjeru područja TPV Bokanjac – Poličnik. Njegovi se principi mogu primijeniti i na drugim TPV koje su izložene rizicima od prekomjernog zaslanjivanja njihovih vodonosnika, kao priobalnim, tako i otočkim. No, uz sam razvoj metodologije, nužno je razvijati i sustav monitoringa uspostavom kontinuiranih praćenja razina podzemnih voda na dijelovima priobalnih vodonosnika izloženim mogućim značajnijim prodorima u zonu unutar koje se nalaze vodoopkrbni vodni resursi, kao i sustav ranog uzbunjivanja

## 9. Literatura

BIONDIĆ, B & BIONDIĆ, R. (2014): Hidrogeologija Dinarskog krša u Hrvatskoj.- Sveučilišni udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, 341 str.

BIONDIĆ, R., RUBINIĆ, J., BIONDIĆ, B., MEAŠKI, H. & RADIŠIĆ, M. (2016): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj.- Arhiv Geotehnički fakultet, Varaždin.

BOŽIČEVIĆ, S. (1975): Izvor Golubinka – speleološko – ronilačka istraživanja. Arhiv HGI.

BRITISH COLUMBIA (2016): Best Practices for Prevention of Saltwater Intrusion.- [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/water-wells/saltwaterintrusion\\_factsheet\\_flnro\\_web.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/water-wells/saltwaterintrusion_factsheet_flnro_web.pdf)

BUBNOVA, R., HELLO, G., BENARD, P., GELEYN, J. (1995): Integration of the Fully Elastic Equations Cast in the Hydrostatic Pressure Terrain - Following Coordinate in the Framework of the ARPEGE/ Aladin NWP System. Monthly Weather Review, 123, str. 515-35.

CCWaterS: [http://www.southeast-europe.net/en/projects/approved\\_projects/?id=65](http://www.southeast-europe.net/en/projects/approved_projects/?id=65)

CIS 7 (2003): Vodič br. 7 – Monitoring u skladu s Okvirnom direktivom o vodama.- Zajednička strategija implementacije Okvirne direktive o vodama, Radna grupa 2.7 – Monitoring.

CUSTODIO, E. (2002): Aquifer Overexploitation: What Does It Mean? Hydrogeology Journal, 10(2), str. 254-277.

CUSTODIO, E. & BRUGGEMAN, G. (1982): Groundwater Problems in Coastal Areas. Studies and Reports in Hydrology, 45. UNESCO. Paris: UNESCO.

DHMZ: <https://meteo.hr/> (pristupljeno: 21.10.2019.)

ELEKTROPROJEKT (1993): Bokanjačko blato, injekcijska zavjesa zapadna, idejni projekt. Zagreb, Fond stručne dokumentacije.

ELEKTROPROJEKT (1994): Zadarski vodovod, Vodoopskrba Zadra i okolice I faza, Hidrološka studija (nos. zadatka Žugaj, R.), Zagreb, Fond stručne dokumentacije.

FRANIĆ, D. & BOSNA, M. (1971): Vodoistražni radovi Zadar. Kaptaže Badnjine i tunel, 1968-70.- Arhiv Geotehnika, Zagreb.

FRITZ, F. & PAVIČIĆ, A. (1975): Bokanjačko blato. Hidrogeološki istražni radovi za glavni projekt injekcijske zavjese. Arhiv HGI 266/75, Zagreb.

FRITZ, F. (1976): Ravni kotari – Bukovica. Hidrogeološka studija.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

FRITZ, F., PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1994): Crpilišta zadarskog vodovoda. Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite. Arhiv HGI 70/94, Zagreb.

GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB (GF ZG) (1960): Hidrološka studija Bokanjačkog blata (nos. zad. Gjurović, M.), Zagreb, fond stručne dokumentacije.

GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB (GF ZG) (1969): Hidrološka studija Bokanjačkog blata. (nos. zad. Gjurović, M.), zagreb, Fond stručne dokumentacije.

GRAĐEVINSKI INSTITUT SPLIT (1978): Bokanjačko blato – Hidrološke analize s aspekta potreba i mogućnosti vodoopskrbe (nos, zad. Bonacci, O.), fond stručne dokumentacije Građevinskog fakulteta u Splitu, Split.

HORVAT, B. & RUBINIĆ, J. (2006): Annual runoff estimate- an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. Hydrological Sciences Journal. 51/2; 314-324.

HRVATSKE VODE (2014): Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja Sektor F – Južni Jadran, Branjeno područje 26: Područje malog sliva Zrmanja – Zadarsko primorje. Zagreb. [https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp\\_26\\_-\\_provedbeni\\_plan\\_obrane\\_od\\_poplava.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_26_-_provedbeni_plan_obrane_od_poplava.pdf)

ILAKOVAC, B. (1976): Rimski vodovodi zadarskog područja. Zadarski vodovodi, Zadar.

JELAVIĆ, A. (1959): Pedološke prilike Bokanjačkog Blata i njihova genetska veza s tlima u mlađim kraškim poljima.- Agronomski glasnik, Glasilo Hrvatskog agronomskog društva, vol. 9, No. 8, 9, 10, 11 i 12, str. 385-394.

LANGBEIN, W. B. (1962): The water supply of arid valleys in intermountain regions in relation to climate, IAHS Bull, 7(1), str. 34-39.

LUKAČ REBERSKI, J., RUBINIĆ, J., TERZIĆ, J. & RADIŠIĆ, M. (2019): Climate Change Impacts on Groundwater Resources in the Coastal Karstic Adriatic Area: A Case Study from the Dinaric Karst, Natural Resources Research, str. 1-14

MAJČEN, Ž., KOROLIJA, B., SOKAČ, B. & NIKLER, L. (1969): List Osnovne geološke karte M 1:100.000 – list Zadar – Tumač i List karte.- Arhiv Hrvatski geološki institut, Zagreb.

MEDITERRANEAN GROUNDWATER WORKING GROUP (2007); Mediterranean Groundwater Report. Technical report on groundwater management in the Mediterranean. EUWI Med.

MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I ENERGETIKE (MZOIE) (2018): Sedmo nacionalno i treće dvogodišnje izvješće RH prema okvirnoj konvenciji UN o promjeni klime (UNFCCC), <https://mzoe.gov.hr/UserDocImages/KLIMA/SZOR/7%20Nacionalno%20izvje%C5%A1%C4%87e%20prema%20UNFCCC.pdf>

MUNDA, B., TRUTIN, M. & MATIĆ, N. (2007): Trasiranje podzemnog toka vode kao dio Projekta namjenskih hidrogeoloških istraživanja mikrozone potencijalnog centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije na lokaciji zapadno od Biljana Donjih. Geoaqua d.o.o., arhiv Zadarske županije.

NARODNE NOVINE (NN) 125/13 (2013): Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju.

NARODNE NOVINE (NN) 66/16 (2016): Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. Hrvatske vode, Zagreb.

NARODNE NOVINE (NN) 125/17 (2017): Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe.

OKVIRNA DIREKTIVA O VODAMA (ODV) 2000/60/EC (2000): Water Framework Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy.

OSKORUŠ, D.; BERBIĆ, J.; MACEK, K. & LONČAR, T. (2017): Ekstremne rujanske poplave u Zadru i Ninu, Hrvatska vodoprivreda 221/25, 25-34.

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, 88(9), str. 1395-1409.

PAVLIN, B. (1974): Injekciona zavjesa uz zapadni rub Bokanjačkog blata. Idejni projekt s vođenjem i interpretacijom istražnih radova. Knjiga I, II, III. Arhiv „Elektroprojekt“, Zagreb.

PAVLIN, B. (1976): Bokanjačko blato. Injekciona zavjesa uz zapadni rub. Glavni projekt. Knjiga I. i II. Arhiv Elektroprojekt, Zagreb.

PEŠA, I. (2017): Poplave na području malog sliva „Zrmanja – Zadarsko primorje“, Hrvatska vodoprivreda 221/25, 35-42.

PROJEKT (1961a): Bokanjačko blato – hidrološka studija. (nod. Zad. Svetličić E.), Zagreb, fond stručne dokumentacije.

PROJEKT (1961b): Bokanjačko blato, Odvodnja – Regulacija Miljašić jaruge, (nod. Zad. Svetličić E.), Zagreb, fond stručne dokumentacije.

RUBINIĆ, J. (2014): Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji, doktorski rad, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka.

RUBINIĆ, J., HORVAT, B., TERZIĆ, J. & BOŠNJAK, T. (2011a): Analiza klimatskih promjena/varijacija na pilot područjima u Hrvatskoj. U: Biondić, D.; Holjević, D.; Tropan, Lj., ur., Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena: zbornik radova; 5. hrvatska konferencija o vodama, Opatija 18.-21. svibnja 2011. Zagreb: Hrvatske vode, str. 119-128.

RUBINIĆ, J., TERZIĆ, J., MARKOVIĆ, T. & HORVAT, B. (2011b): WP 4: Availability of Water Resources. Test Area Bokanjačko Blato, North Dalmatia, Croatia, EU Project CC-WaterS - Climate Change and Impacts on Water Supply. Croatian Geological Survey, Zagreb.

ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem Würmu.- Geografski glasnik 30, Zagreb.

TURC, L. (1954): Water balance of soils: relationship between precipitation, evapotranspiration and runoff (in French). Ann Agron 5: 49-959 and 6: 5-131.

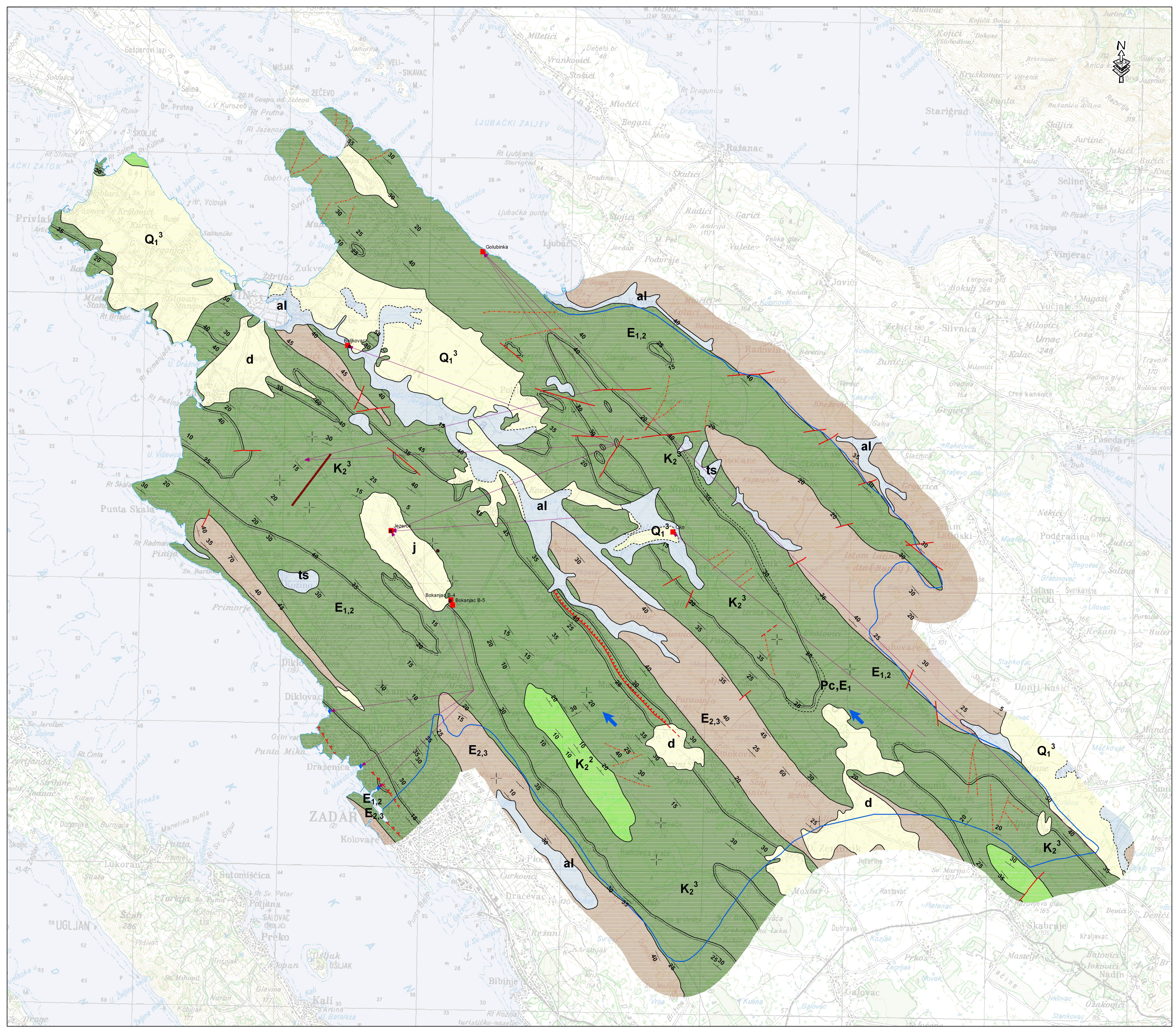
WSDE – Washington State Department of Ecology (2005): Water Resources Inventory Area 06 Islands. Seawater Intrusion Topic Paper.

VRO SPLIT (1989): Miljašić jaruga kod imanja PPK-Zadar, Komesarije. Split, fond stručne dokumentacije.

ZADRA (2013): Strategija razvoja grada Zadra 2013-2020. Okvir za strateški razvoj Zadra do 2020. godine.- Razvojna agencija Zadarske županije – ZADRA d.o.o., Zadar.

ŽUGAJ, R., BATIĆ, V. & ŽUGAJ, M. (1994): Zadarski vodovod. Vodoopskrba Zadra i okolice. I. faza, Hidrogeološka studija i elaborat o učinku injekcijske zavjese - Arhiv Elektroprojekt inženjering, Zagreb.





**PREGLEDNA HIDROGEOLOŠKA KARTA  
TPV BOKANJAC - POLIČNIK**

M 1:50.000



Izradili:  
prof.dr.sc. Ranko Biondić  
prof.emerit.dr.sc. Božidar Biondić  
doc.dr.sc. Hrvoje Meaški

- LEGENDA:**
- Kvarterne naslage male debljine i promjenjive propusnosti
  - Aluvijalne naslage promjenjive vodopropusnosti
  - Dobro vodopropusne karbonatne stijene
  - Osrednje vodopropusne karbonatne stijene
  - U cjelini nepropusne klastične naslage
  - $K_2^3$  Stratigrafski simbol
  - Geološka granica
  - Geološka granica - pretpostavljena
  - Transgresivna granica
  - Normalan rasjed
  - Normalan rasjed - pretpostavljen
  - Reversan rasjed
  - Reversan rasjed - pretpostavljen
  - Fotogeološki određen rasjed
  - Nagibi sloja
  - Prebačeni sloj
  - Horizontalan sloj
  - Crpilište
  - Priobalni izvor
  - Bušotine
  - Smjer tečenja podzemne vode
  - Podzemna vodna veza utvrđena trasiranjem
  - Injekcijska zavjesa
  - Vanjska granica TPV Bokanjac-Poličnik
  - Obala