

Hidrogeološki odnosi crpilišta Novljanska Žrnovnica kod Novog Vinodolskog

Plander, Brigita

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:434573>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

BRIGITA PLANDER

**HIDROGEOLOŠKI ODNOSI CRPILIŠTA NOVLJANSKA ŽRNOVNICA KOD
NOVOG VINODOLSKOG**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 14. 07. 2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 30. 06. 2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Iz. prof. dr. sc. Saupar Kovač

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Ranko Biondini
- 2) Iz. prof. dr. sc. Hrvoje Meški
- 3) Prof. dr. sc. Saupar Kovač

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

BRIGITA PLANDER

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI CRPILIŠTA NOVLJANSKA ŽRNOVNICA KOD NOVOG
VINODOLSKOG

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:

Brigita Plander



MENTOR:

Prof.dr.sc. Ranko Biondić

VARAŽDIN, 2022.


IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom: **Hidrogeološki odnosi crpilišta Novljanska Žrnovnica kod Novog Vinodolskog**, rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izraden pod mentorstvom **prof.dr.sc. Ranka Biondića**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 30.06.2022.

Brigita Plander



(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Hidrogeološki odnosi na crpilištu Novljanska Žrnovnica kod Novog Vinodolskog

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 30.06.2022.

Prof.dr.sc Ranko Biondić



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Brigita Plander

Naslov rada: Hidrogeološki odnosi crpilišta Novljanska Žrnovnica kod Novog Vinodolskog

Crpilište Novljanska Žrnovnica se nalazi u uvali Žrnovnica u blizini grada Novog Vinodolskog te se koristi za vodoopskrbu okolnih gradova i naselja. Slivno područje izvorišnog sustava je izgrađeno od karbonatnih i klastičnih stijena i prisutni su svi elementi koji karakteriziraju geološku građu Dinarida.

Za vrijeme ljetnih mjeseci je vrlo dobro razvijen turizam te su potrebe za pitkom vodom veće u odnosu na ostatak godine. Stoga je sustav spojen sa vodoopskrbnim sustavom grada Rijeke zbog stabilnosti sustava te zbog mogućnosti opskrbe vodom u tim razdobljima. Prekomjernim crpljenjem podzemne vode se razina vode spušta u odnosu na prirodno stanje vodonosnika te se time mijenjaju ravnotežni uvjeti. Kao posljedica toga dolazi do pomicanja granice slane vode prema gornjim dijelovima vodonosnika u kojem su prethodno vladali slatkovodni uvjeti. Taj problem uočen je još davnih sedamdesetih godina koji se pokušao riješiti ugradnjom injekcijske zavjese koja bi spriječila kontakt slatke i slane vode.

Kasnije, su rađena hidrogeološka istraživanja kojima je cilj bio usmjeriti se na mogućnosti dobivanja većih crpnih količina vode uz manje tehničke zahvate na crpilištu.

Dobiveni su pozitivni rezultati u smislu usmjeravanja radova prema izvedbi novih kaptažnih zahvata u blizini već postojećih te je napuštena ideja o proširenju i produbljenju injekcijske zavjese.

Ključne riječi: hidrogeološki odnosi, Novljanska Žrnovnica, crpilište, zaslanjenje vodonosnika, analiza kakvoće sirove vode

ABSTRACT

Name and surname: Brigita Plander

Title: Hydrogeological relations of the pumping station Novljanska Žrnovnica near Novi Vinodolski

The Novljanska Žrnovnica pumping station is located in the Žrnovnica bay near the town of Novi Vinodolski, and it supplies water needs of the surrounding towns and villages. The catchment area is made of carbonate and clastic rocks and it has all the geological characteristics of the Dinarides.

During the summer months tourism booms and the need for drinking water is higher in comparison to the rest of the year. For this reason the system is connected to the water supply system of the town of Rijeka due to its stability and the possibility of water supply during this period. Excessive pumping of groundwater lowers the water level in relation to the natural state of an aquifer and thus changes the equilibrium conditions. Consequently, the salt water boundary shifts towards the upper parts of the aquifer where freshwater conditions previously prevailed. This problem was noticed back in the seventies and an attempt was made to solve it by installing an injection curtain that would prevent the contact between fresh and salt water.

Later on, hydrogeological research was carried out with the aim of obtaining larger pumping quantities of water with few technical interventions at the pumping station.

Positive results were obtained in terms of directing the work towards the implementation of new catchment interventions in the vicinity of the existing ones and the idea of widening and deepening the injection curtain was abandoned.

Key words: hydrogeological relations, Novljanska Žrnovnica, pumping station, aquifer salinization, groundwater quality analysis

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPIS SLIVA NOVLJANSKA ŽRNOVNICA.....	2
2.1. OPIS CRPILIŠTA.....	3
2.1.1. Crpilište Novljanska Žrnovnica.....	4
2.1.2. Crpilište Tribalj i povremeno izvorište Sušik.....	6
3. HIDROGEOLOŠKI OPIS IZVORA NOVLJANSKA ŽRNOVNICA.....	8
3.1. Zone sanitarne zaštite.....	12
3.2. Problematika zaslanjenja.....	14
4. ANALIZA KAKVOĆE SIROVE VODE IZVORIŠTA.....	18
4.1. pH vrijednost.....	18
4.2. Temperatura.....	19
4.3. Mutnoća.....	20
4.4. Električna vodljivost.....	21
4.5. Koncentracija otopljenog kisika.....	23
4.6. Nitrati.....	23
4.7. Pesticidi.....	25
4.8. Amonijev ion.....	25
4.9. Ortofosfati.....	26
4.10. Kloridi i sulfati.....	26
4.11. Ugljikovodici.....	27
4.12. Metali.....	28
4.13. Mikrobiološki pokazatelji.....	30
5. ZAKLJUČAK.....	34
6. POPIS LITERATURE.....	36
7. POPIS SLIKA.....	38
8. POPIS TABLICA.....	39

1. UVOD

Danas su potrebe za pitkom vodom sve veće i veće te se u nekim mjestima javlja problem opskrbe vodom. Gradovi i naselja se šire te se razvija promet, tehnologija, poljoprivreda i turizam. Posebno dolazi do problema kada nastupi duži sušni period, a sve više turista dolazi uživati u ljepotama obale.

Crpilište Novljanska Žrnovnica se nalazi u uvali Žrnovnica u blizini grada Novog Vinodolskog te njime službeno upravlja KTD Vodovod „Žrnovnica“. Dio vode se prihranjuje iz smjera Lič polja, dok značajniji dotoci dolaze iz ponornih zona rijeka Like i Gacke. Slivno područje izvorišnog sustava se sastoji uglavnom od karbonatnih stijena koje se karakteriziraju kao dobri vodonosnici (Biondić, et al., 2016).

Crpilište se sastoji od dvije izvorišne zone: Staro vrelo, Novo vrelo te povremeni izvor Sušica pripadaju sjeverozapadnoj zoni, a druga izvorišna zona je jugoistočna zona kojoj pripadaju izvor Čardak i izvor Pećina – Mlinica. Ukupna crpna količina izvorišta Novljanska Žrnovnica iznosi oko 450 L/s, a u sustav vodoopskrbe su uključeni i zdenci u Triblju koji opskrbljuju samo bliža naselja sa 8 L/s (Biondić, et al., 2016).

Crpilište se nalazi u blizini morske obale te tijekom crpljenja dolazi do konusnog podizanja granice miješanja pa samim time i do podizanja slane vode prema crpnom objektu (Ožanić, 2007).

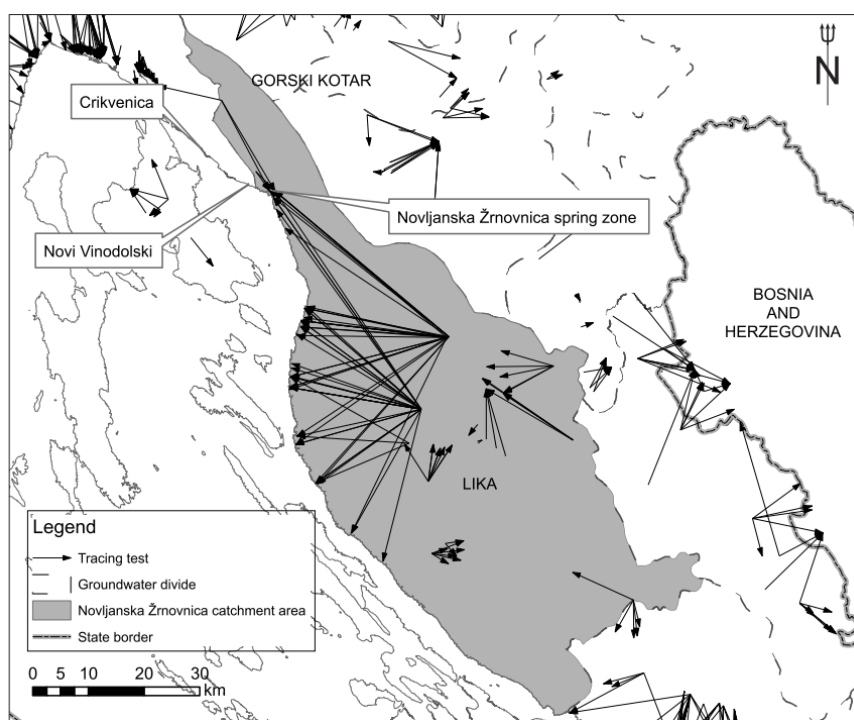
Problem povećanja saliniteta je prvi put primijećen u prošlom stoljeću sedamdesetih godina te se pokušao riješiti injekcijskom zavjesom koje je postavljena između kaptažnog zahvata i obale pomoću bušotina u dužini 145 m. Kasnije je rađena dopunska zavjesa koja nije pokazala pozitivan učinak (Biondić, et al., 2016).

Hidrogeološkim istraživanjima se došlo do zaključka da treba usmjeriti crpljenje vode prema zaleđu izvora Čardak i Pećina jer se kemijskim analizama iz istraživačkih bušotina utvrdilo da nema opasnosti od povećanja saliniteta u sirovoj vodi (Biondić, et al., 2016).

Isto tako, analizirana je kakvoća sirove vode na crpilištu Novljanska Žrnovnica u razdoblju od 2010. do 2021. godine prema podacima dobivenim od Zavoda za javno zdravstvo Primorsko – goranske županije te su isti podaci dio Državne mreže opažanja Hrvatskih voda.

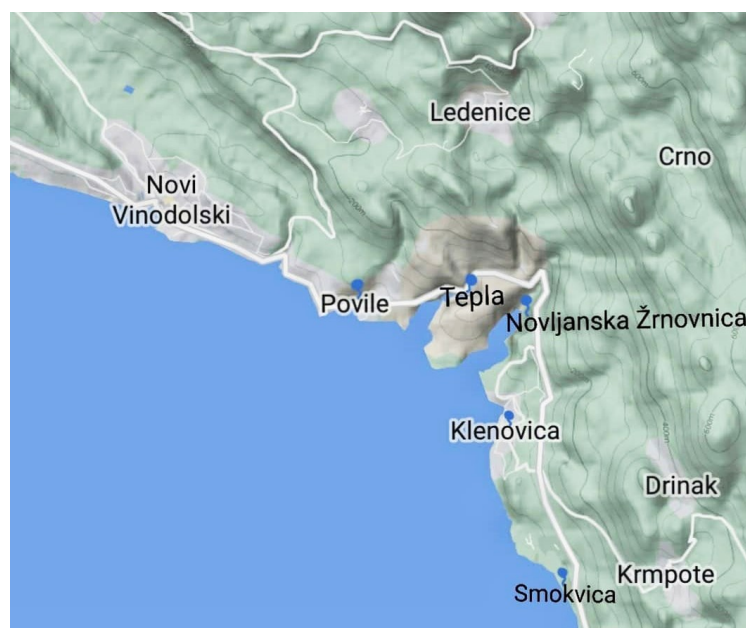
2. OPIS SLIVA NOVLJANSKA ŽRNOVNICA

Sliv izvorišta Novljanska Žrnovnica pripada Jadranskom slivu, a prostire se dijelom na području Gorskog kotara, Like i najvećim dijelom u Hrvatskom primorju. Višekratnim trasiranjima je utvrđeno da se dio vode podzemno prihranjuje iz sjeverozapadnog dijela sliva, također, jedan dio prihranjivanja je sa brdskog područja u zaleđu koji pripada Gorskom kotaru, a ponorna zona rijeke Like i Gacke ima najznačajnije dotoke u sustavu (Slika 1.) (Biondić, et al., 2016).



Slika 1. Skica trasiranja podzemnih tokova u slivu Novljanska Žrnovnica (Biondić, et al., 2012)

Vode rijeke Like i Gacke u svojim prirodnim uvjetima poniru, što je i karakteristično za krške rijeke, te podzemljem otječu prema izvorima na priobalju. Priobalni izvori se pojavljuju u vrlo dugačkom potezu od Karlobaga na jugu sve do Novoga Vinodolskoga na sjeveru, gdje je i najjača zona istjecanja. U toj zoni istjecanja kod Novoga Vinodolskog nalazi se više priobalnih izvora od kojih se mogu istaknuti izvorište Novljanska Žrnovnica te priobalni izvori u Povilama, u uvali Tepla, Klenovica i Smokvica. Na području priobalja izvire velike količine vode, no tijekom ljetnih razdoblja istjecanje je bitno manje (Biondić, et al., 2016).



Slika 2. Kartografski prikaz zona istjecanja rijeke Like i Gacke: Povile, Tepla, Novljanska Žrnovnica, Klenovica i Smokvica

Nadalje, treba naglasiti kako na prirodne uvjete uvelike utječe i hidroelektrana Senj, posebno za vrijeme sušnog razdoblja iz razloga što samo preljevne vode tijekom obilnih kiša i danas imaju otjecanje prema prirodnim ponorima (Biondić, et al., 2016).

Kada govorimo o srednjoj količini oborina na prostoru sliva, ona variraju s obzirom na morfološka obilježja terena. U Gorskom kotaru kod Kapele srednja godišnja količina oborina iznosi oko 3500 mm, dok se ta količina smanjuje prema morskoj obali te iznosi do 1250 mm (Biondić, et al., 2016).

Izvorište Novljanska Žrnovnica se ističe kao najznačajnije crpilište vodoopskrbnog sustava Novi Vinodolski, Crikvenica, Bribir i Grižane te vodom opskrbljuje gotovo 50.000 osoba u vremenu ljetne sezone (Banjad Ostojić et al., 2020.).

2.1. OPIS CRPILIŠTA

Vodoopskrbni sustav Crikveničko-novljanskog područja je baziran na priobalnom izvoru Novljanska Žrnovnica kod Novog Vinodolskog. Osim navedenog crpilišta, u sustav vodoopskrbe uključeni su i zdenci u Triblju, koji se sa svojim kapacitetom koriste samo za lokalne potrebe mjesta. Sustav je spojen sa vodoopskrbnim sustavom grada Rijeke

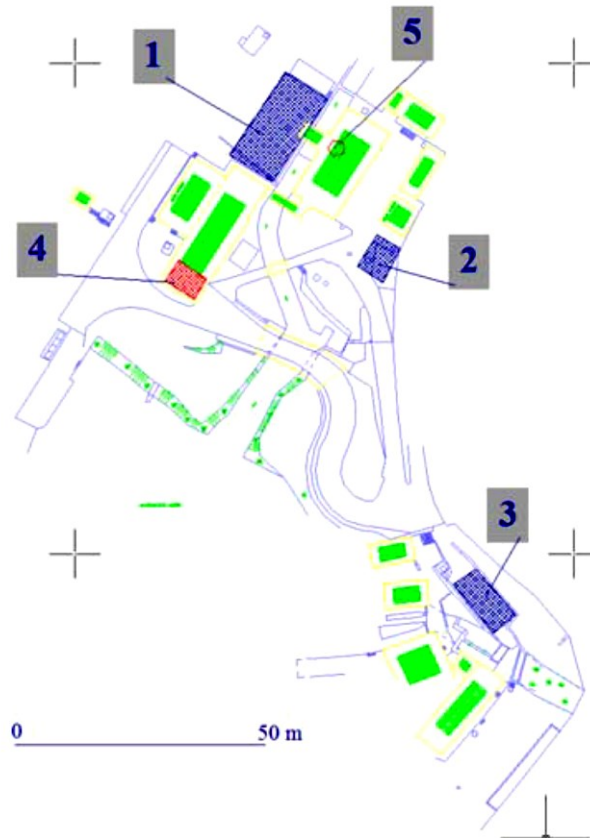
zbog stabilnosti sustava te zbog mogućnosti opskrbe vodom tijekom turističke sezone. KTD Vodovod „Žrnovnica“ upravlja crpilištima Novljanska Žrnovnica i Tribalj (Biondić, et al., 2016).

Kompleks izvorišta Novljanska Žrnovnica je podijeljen u dvije izvorišne zone tj. Staro vrelo, Novo vrelo te povremeni izvor Sušica pripadaju sjeverozapadnoj zoni, a voda drenira iz smjera Lič polja. Druga podjela je na jugoistočnu zonu kojoj pripadaju izvor Čardak i izvor Pećina – Mlinica koji se prihranjuju iz smjera ponornih zona rijeka Gacke i Like (Banjad Ostojić et al., 2020.).

2.1.1. Crpilište Novljanska Žrnovnica

Izvorište Novljanska Žrnovnica je smješteno u blizini Novog Vinodolskog u uvali Žrnovnica te se sastoji od tri objekta koja imaju funkciju zahvaćanja vode u svrhu vodoopskrbe grada Crikvenice i Novog Vinodolskog. Daleke 1932. godine je prvi puta prepoznat potencijal te je izgrađen prvi vodozahvat crpljenjem vode izvora Pećina u blizini sadašnje kaptaže Čardak, dok se danas zahvaća voda na tri kaptažna zahvata, a to su Stara kaptaža, Nova kaptaža i Čardak. Danas se sa vodocrpilišta zahvaća 450 l/s (Biondić, et al., 2016).

Kao što je i prikazano u tlocrtu samog vodocrpilišta (Slika 3.), kaptaža Čardak (3) se nalazi najbliže morskoj obali dok su Stara (1) i Nova kaptaža (2) nešto udaljeniji od obale. Između Stare i Nove kaptaže se nalazi dizelska crpka (5). Crvenom bojom je na tlocrtu prikazan sabirni bazen (4) iz kojeg se voda transportira u vodoopskrbni sustav.



Slika 3. Tlocrtni prikaz vodocrpilišta Novljanska Žrnovnica (Biondić, et al., 2016).

Iz svih kaptaža se voda slijeva gravitacijski u sabirni bazen koji se nalazi uz obalu te sustav ima mogućnost zatvaranja zapornica kojima se voda može regulirati iz pojedinih kaptaža u sustavu. Takav sustav omogućuje vrlo dobre mogućnosti samog upravljanja ukoliko dođe do promjene parametara, kao što je recimo povišenje saliniteta, ukoliko dođe do zamućenja ili potencijalnih onečišćenja u određenom kaptažnom zahvatu (Biondić, et al., 2016).

Sabirni bazen je kružnog oblika promjera 7,5 m, dubine 5,4 m te se u njemu nalaze četiri crpke koje vodu iz bazena dižu u vodoopskrbni sustav. Tri crpke su električne kapaciteta od 200 l/s, dok je jedna dizelska i smanjena je na 120 l/s zbog veće efektivnosti crpljenja. Ona se nalazi u Staroj kaptaži te služi za direktan transport vode u vodoopskrbni sustav za vrijeme sušnog razdoblja (Biondić, et al., 2016).

Stara kaptaža je pravokutnog oblika, dimenzija 10,3x16,8 m. Dno kaptaže je kamen, dok se za stijenke koristio armirani beton. Dubina samog zahvata je 1 do 1,5 m koja ovisi o količini suspendiranog materijala. Kada je riječ o dizelskoj pumpi, njezino korištenje se

izbjegava iz razloga što dolazi do podizanja morske vode iz krškog podzemlja, što uvjetuje promjenu kakvoće vode na kaptazi (Biondić, et al., 2016).

Nova kaptaza se nalazi u blizini transformatorske stanice i dimenzija je 5x10 m, te je spojena na dovodni kanal kaptaze Čardak koji se nalazi na istočnom dijelu crpilišnog sustava gdje zajedničkim kanalom vode odvede do sabirnog bazena. Iznad kaptaze Čardak nalazi se povremeni izvor Pećina – Mlinica iz kojeg izviru preljevnice vode zahvata Čardak, no taj izvor preko ljetnih sušnih razdoblja presuši (Biondić, et al., 2016).

Uz vodocrpilište Novljanska Žrnovnica u vodoopskrbni sustav Crikveničko – novljanskog područja su uključeni i zdenci u naselju Tribalj, no zdenci su vrlo male izdašnosti te se koriste samo za potrebe stanovnika Triblja i okolice (Biondić, et al., 2016).

2.1.2. Crpilište Tribalj i povremeno izvorište Sušik

Crpilište Tribalj se nalazi u zaleđu grada Crikvenice te se koristi u svrhu vodoopskrbe stanovnika naselja Tribalj po kojemu je i samo crpilište dobilo ime. Crpilištem upravlja KTD Vodovod „Žrnovnica“ te vodom opskrbljuje više od 600 stanovnika. U blizini crpilišta je izgrađena akumulacija Tribalj i strojarnica HE Vinodol, koja je samo dio najnižvodniji dio hidroenergetskog sustava na području Gorskog kotara sa snagom od 90 MW. Akumulacija Tribalj se nalazi 500-tinjak metara uzvodno od crpilišta. U sustavu crpilišta postoje dva zdenca koja su izvedena u naslagama aluvijalnog tla. Jedan je dovoljan za vodoopskrbu naselja od prosječno oko 8 l/s i smješten je uz crpnu stanicu, dok se drugi zdenac koristi kao pričuvni. Zdenac koji je u konstantnoj funkciji je kružnog oblika, promjera 8 m, a dubine 5,5 m, dok je pričuvni zdenac nešto manjeg promjera dubine 7 m. Na osnovi istraživanja, vodocrpilište Tribalj tijekom ljetnih mjeseci nema izražene pikove u odnosu na vodocrpilište Novljanska Žrnovnica (Biondić, et al., 2016).

Povremeno izvorište Sušik se također nalazi u mjestu Tribalj oko pola kilometra sjeverno od vodocrpilišta. Karakterističnost ovog povremenog izvorišta je što se sastoji od više kaverni, tj. Velike jame, Male jame i Nove jame. Najznačajnija istraživanja su rađena na području Male jame koja se dužinom prostire do 140 m. U vrijeme obilnih kiša iz nje izvire značajna količina vode, dok se za vrijeme sušnog razdoblja voda zadržava u jamskom prostoru. Istraživanjima su dobiveni i rezultati koji pokazuju kako bi se mogla

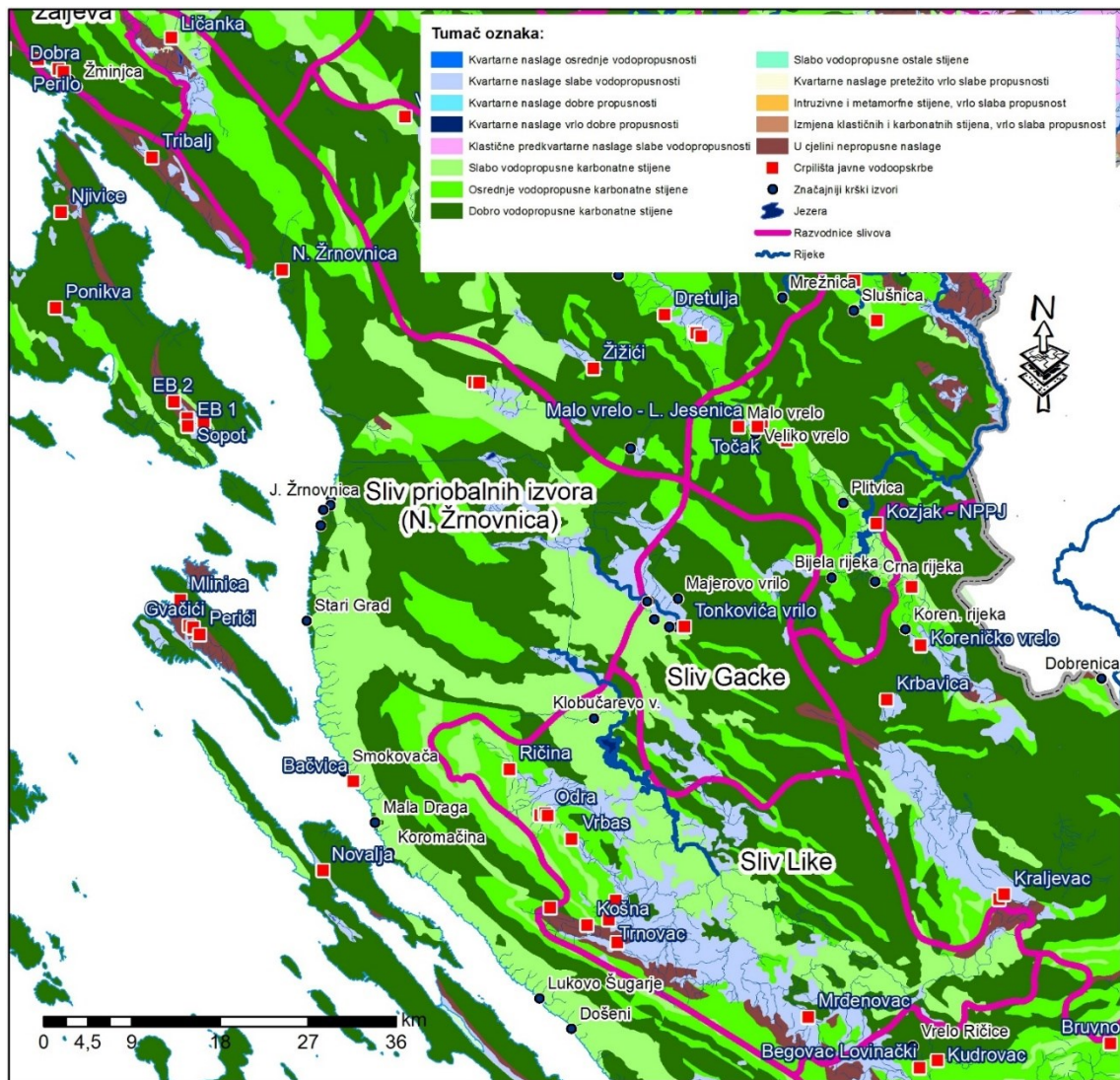
zahvaćati količina od oko 30 l/s, no najveći problem bi predstavljalo bakteriološko onečišćenje zbog nerazvijenosti kanalizacijskog sustava naselja koje je u blizini (Biondić, et al., 2016).

3. HIDROGEOLOŠKI OPIS IZVORA NOVLJANSKA ŽRNOVNICA

Slivno područje izvorišnog sustava je građeno od karbonatnih i klastičnih stijena koje su se formirale od trijasa do paleogena pa sve do kvartara. Prisutni su svi elementi koji karakteriziraju geološku građu Dinarida. Specifičnost krških terena je bogata podzemna hidrografska mreža, okršenost podzemlja, pojave brojnih vrtača, dolina te postojanje velikih povremenih i stalnih krških izvora. Podzemna voda ima vrlo velike brzine podzemnih tokova koje su do 30 cm/s. Vodopropusnost samih stijena je vrlo varijabilna s obzirom na prisutnost dolomita u sastavu, a kada je riječ o klastičnim stijenama one su u pravilu nepropusne i smatraju se kao barijera za kretanje podzemnih voda (Biondić, et al., 2016).

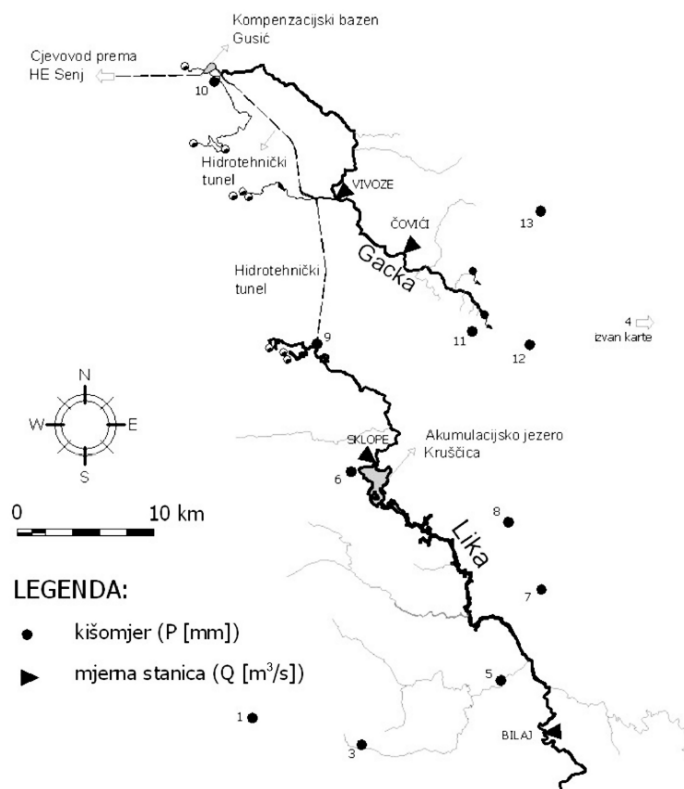
Sliv izvorišta Novljanska Žrnovnica se nalazi u Hrvatskom primorju te se smatra kao jedan od najvećih drenažnih sustava tj. izvorišna zona sa najznačajnijim vodnim potencijalom. Sjeverna granica sliva je područje Lič polja dok na jugu je granica do ponornih zona rijeke Gacke i Like (Slika 4.).

Sliv se prihranjuje rijekama ponornicama Gackom i Likom dok se na sjeveru prihranjuje sa područja Bakarskog zaljeva. Sliv je podijeljen kod Senjske Drage u blizini grada Senja u dva dijela, a razvodnicu čini antiklinalna forma i eruptivni prodor. Dio vode zaobilazi barijeru kod Senjske Drage te podzemljem otječe prema izvorištu Novljanska Žrnovnica te prema ostalim izvorima na obali (Biondić, et al., 2016).



Slika 4. Prikaz granica slivnih područja te značajnijih krških izvora i crpilišta javne vodoopskrbe (Biondić, 2020).

Uz izvorište Novljanska Žrnovnica postoji više značajnih mjesta istjecanja podzemne vode. U sam sustav pripadaju priobalni izvori u Povilama, izvor u uvali Tepla, Klenovici i Smokvici. Potonje navedena izvorišta su povremena sa velikim količinama vode, no za vrijeme suše, istjecanje je na tim izvorima zanemarivo te kao značajnije izvorište preostaje samo Novljanska Žrnovnica koji ima najbolje hidrološke karakteristike u odnosu na ostala izvorišta na području sjevernog Jadrana (Biondić, et al., 2016).



Slika 5. Karta tokova rijeke Like i Gacke s ucrtanim hidroenergetskim objektima (Biondić, 2020).

Rijeka Gacka je rijeka ponornica te je po dužini treća ponornica na svijetu. Nalazi se u dolini koja je nazvana po samoj rijeci te se nalazi u centralnom dijelu Like (Slika 5.). Sliv rijeke Gacke je tipičan sliv karakterističan za krško područje, te ima oblik lepeze oko izvorišta. Glavni izvori rijeke su krški izvori velike izdašnosti, a to su Tonkovića vrelo, Klanac vrelo, Majerovo vrelo te vrelo Pećina koje se nalazi nizvodno. Nabrojani izvori daju više od osamdeset posto ukupnih količina vode rijeke, no uz te izvore postoji i velik broj povremenih izvora (Biondić, et al., 2016).

Izvorišna zona je najvećim dijelom u Ličkom Sredogorju, a jugozapadno u dijelu padine planinskog područja Male Kapele i presječeno naslagama koja imaju funkciju barijere. Od mjesta Čovića započinje zona estavela koja ima dvojnu hidrogeološku funkciju. U sušnim razdobljima zona ima ulogu ponora, dok tijekom kišnih razdoblja ima ulogu izvora. U blizini mjesta Luke kod Otočca počinje ponorna zona rijeke te se prirodni tok rijeke dijeli u dva kraka kod mjesta Vivoze. Jedan krak ide prema Drenovom Klancu, Brlogu i Hrvatskom polju, dok drugi zapadni krak ide prema mjestu Švica (Slika 4.). Treba naglasiti da prokopom kanala, kojim se preusmjerila glavnina voda rijeke, te

izgradnjom HE Senj su se značajno izmijenili prirodni uvjeti posebno za vrijeme sušnih razdoblja jer tijekom kišnog razdoblja preljevne vode otječu prema prirodnim ponorima. Voda rijeke Gacke se ubraja među najboljima na svijetu po svojoj kakvoći i mineralnom sastavu (Biondić, et al., 2016).

Sliv rijeke Like se razlikuje od sliva rijeke Gacke po hidrogeološkim karakteristikama. Otjecanje vode rijeke Gacke je vezan za zonu estavela i zonu ponikvi, dok rijeka Lika ima površinsko otjecanje te plitko podzemno otjecanje. Rijeka Lika ponire u Lipovom polju te se vode podzemno dreniraju prema obali od Novog Vinodolskog pa do grada Karlobaga (Biondić, et al., 2016).

Sliv rijeke Like se nalazi na sjeveroistoku planinskog područja Velebit koji zbog vodonepropusnih naslaga ima funkciju barijere. Rijeka Lika započinje velikim brojem manjih izvora, a sam sliv se dijeli na dva dijela s obzirom na geološke karakteristike. Prvi dio se nalazi na od Medaka do potoka Bakovac i pripada Velebitskom masivu, dok se drugi dio nalazi u Ličkom Sredogorju sa rijekom Jadovom koja je desni pritok rijeke Like, a sa Velebitskog masiva dotječe više vodotoka koji konstantno prihranjuju rijeku Liku. Rijeka Jadova pak ostaje bez vode tijekom ljetnih mjeseci, a podzemne vode tog područja protječu ispod vodotoka rijeke prema koritu Like. U Lipovom polju postoje Jelar naslage koje imaju funkciju barijere te je na području izgrađena brana i akumulacija HE Senj. Jelar naslage su klastične heterogene naslage karbonatnog sastava koje su nastale tektonskim poremećajima te je u takvim naslagama vrlo dobro razvijen krški reljef (Biondić, et al., 2009).

Zona estavela i poniranja se nalazi u Lipovom polju te je rijeka u potpunosti ponirala prije izgradnje HE Senj, a izgradnjom su promijenjeni prirodni uvjeti i za potrebe HE Senj izgrađen je tunel kojim se vode rijeke Like preusmjeravaju u sliv rijeke Gacke i kanalom kod naselja Vivoze rijeke se spajaju i preusmjeravaju do retencije u Gusić polju prema samoj HE Senj. Vode se ispuštaju prema prirodnim ponorima preko preljeva brane ukoliko dođe do velikih voda (Biondić, et al., 2009).

Rađena su istraživanja ponornih zona te se trasiranjem podzemnih tokova pokazalo kako su rijeke Lika i Gacka povezane sa izviranjem na obalnom području od Novog Vinodolskog do Karlobaga. Također se pokazalo da postoji velik broj vrulja većih dimenzija. Kada dođu sušna razdoblja dimenzija vrulje se smanjuje, a samim time i obalni

izvori imaju problem sa povećanjem saliniteta zbog utjecaja morske vode kroz vrulje (Biondić, et al., 2009).

3.1. Zone sanitarne zaštite

Zone sanitarne zaštite crikveničko – vinodolskog područja i mjere zaštite izvorišta vode za ljudsku potrošnju se temelje na Zakonu o vodama, Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta Primorsko-goranske županije i Poslovnika Županijske skupštine (Sl. nov. PGŽ, 2016).

Odluku je 24. studenog 2016. donijela Županijska skupština Primorsko – goranske županije uz suglasnost Hrvatskih voda. Izvorišta koja su uključena u područje su izvorišta Novljanska Žrnovnica, Tribalj i izvor Sušik u Triblju. Slivna područja izvorišta, granice zona sanitarnih zaštita, mjere i Program sanacije na području samih zona su temeljene na vodoistražnim radovima Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. (Sl. nov. PGŽ, 2016).

S obzirom da područje zahvaćanja podzemne vode se kategorizira kao vodonosnik s pukotinskom i pukotinsko - kaveroznom poroznosti, zone sanitarne zaštite su utvrđene na kriterijima koje prepisuje Pravilnik za iste (Biondić, et al., 2016).

Sredinom osamdesetih godina su rađena istraživanja kako bi se odredile granice zona sanitarne zaštite, obrađeno je područje cijeloga sliva odnosno rađena su hidrogeološka istraživanja, obrađena je kakvoća podzemne vode, opisani su sve moguće vrste onečišćivača. Na temelju toga su određene zone sanitarne zaštite. Nešto kasnije, oko sredine devedesetih godina, su rađene dopune za I. i II. zonu sanitarne zaštite. Također, treba naglasiti da su zone sanitarne zaštite tada utemeljene prije donošenja Pravilnika o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (NN 22/86). Tim Pravilnikom je dopušteno istraživačima sugeriranje kada je riječ o definiranju kriterija, mjera zaštite i metoda istraživanja koje bi se koristile prilikom definiranja zaštitnih zona (Biondić, et al., 2016).

Problem je nastao zbog subjektivnog pristupanja različitih istraživača i dovelo je do nedovoljne preciznosti. Godine 2002. je uveden Pravilnik o utvrđivanju zona zaštite izvorišta (NN 55/02) kojim je detaljno opisan način izrade elaborata o zaštitnim zonama

za krško područje, kriteriji prema kojima se te zone određuju, te su odrađena dodatna istraživanja kako bi se već određene zone sanitarne zaštite uskladile sa tim novim Pravilnikom (Biondić, et al., 2016).

Kasnije, tijekom 2011. godine, doneseni je Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11), i Pravilnik o izmjenama prethodno navedenog Pravilnika - (NN 47/13) koji se koriste do danas, a kriteriji za određivanje zona sanitarne zaštite su prikazani na slici (Slika 6.) (Biondić, et al., 2016).

		Krški vodonosnici	
IA. zona	Zona strogog režima zaštite i nadzora – mora biti ograda	Neposredno naplavno područje	
IB. zona		Izdvaja se ukoliko je I. zona velika i na strmim i nepristupačnim odsječcima	
II. zona	Zona strogog ograničenja i nadzora	< 24 sata	> 3 cm/s
III. zona	Zona ograničenja i nadzora	1-10 dana	1-3 cm/s
IV. zona	Zona ograničenja	za izvorišta < 20 l/s (10-20 dana) za izvorišta 20-100 l/s (20-40 dana) za izvorišta >100 l/s (40-50 dana)	< 1 cm/s
Vodoopskrbni rezervat		Planinska područja, posebne mjere pasivne zaštite kao za IV., III. ili II. zonu	

Slika 6. Kriteriji za određivanje zona sanitarne zaštite prema Pravilniku (NN 66/11; NN 47/13) (Biondić, et al., 2016).

Za područje crikveničko - novljanskih vodoopskrbnih objekata se zone sanitarne zaštite dijele na četiri zone. U blizini izvorišta Novljanska Žrnovnica i zdenci u Triblju se nalaze u I. zoni zaštite. S obzirom da je zona Novljanske Žrnovnice površinski velika pa je podijeljena na dvije zaštitne zone, tj. IA. i IB. zonu. Za crpilište Tribalj utvrđuju se tri zone (I., II. i III.) sanitarne zaštite, a za izvorište Sušik je utvrđena II. i III. zona sanitarne zaštite (Biondić, et al., 2016).

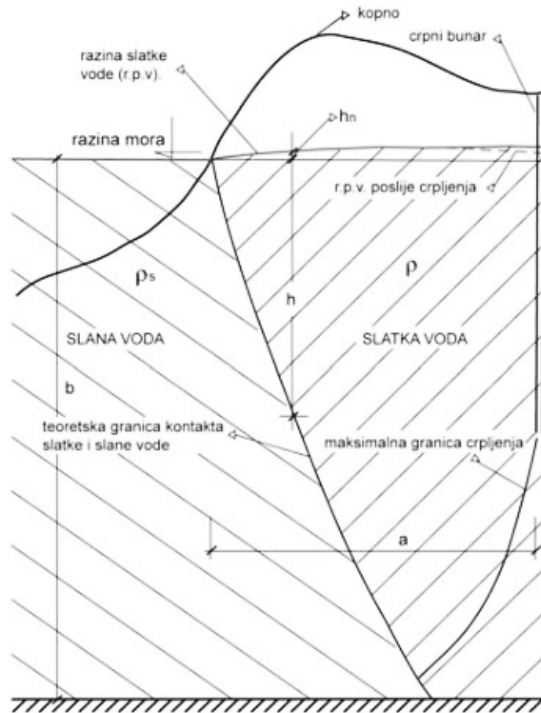
3.2. Problematika zaslanjenja

Na obalnom području su zabilježeni problemi povremenih povišenja saliniteta na crpilištima zbog crpljenja velikih količina podzemne vode, posebice tijekom ljetnih mjeseci. Također, primijećeno je da u prirodnim uvjetima dolazi do pojave istjecanja bočate vode na priobalnim izvorima. Između kontakta slane i slatke vode ne postoji točno definirana granica, no u literaturi se ta zona naziva zonom miješanja. Zona miješanja se razlikuje po veličini i položaju te postoji nekoliko faktora po kojima se definiraju, a kao jedan od glavnih faktora se uzima hidraulički gradijent u vodonosniku te geološka građa samog vodonosnika (Biondić, et al., 2009).

Kao što je i prethodno navedeno na stabilnost odnosa slane i slatke vode dodatno utječe i eksploatacija podzemnih voda posebice tijekom sušnog razdoblja kada je i potreba za pitkom vodom najveća zbog razvijenosti turizma. Tijekom crpljenja dolazi do konusnog podizanja granice miješanja pa samim time i do podizanja slane vode prema crpnom objektu (Ožanić, 2007).

Kako bi se opisao mehanizam međudnosa slatke i slane vode koristi se Ghyben (1889) Hertzbergov zakon (1901) koji se temelji na hidrostatskom zakonu i na odnosu gustoće slatke i morske vode uz pretpostavku da je slana voda gušća te da se leća slatke vode nalazi iznad slane. Za gustoću slane vode se uzima 1,025 kg/m³ te se označava sa ρ_s , gustoća slatke vode se označava sa ρ , dubina slatke vode ispod razine mora se označava sa h , dok je h_n visina slatke vode iznad razine mora (Slika 7.). Prema tome jednadžba prema Ghyben – Herzbergovom zakonu glasi (Ožanić, 2007):

$$\frac{h}{h_n} = \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho)}$$



Slika 7. Međudnos slatke i slane vode prema Ghyben - Hertzbergovom hidrostatskom zakonu (Ožanić, 2007)

$$h = 40 \times h_n$$

Odnos h/h_n je najčešće konstantan te se uzima otprilike 40, što znači da metar slatke vode iznad razine mora odgovara četrdeset metara slatke vode ispod razine mora. Razvijenost krškog reljefa unutar vodonosnika omogućuje vrlo brzo kretanje podzemne vode, također treba naglasiti da postoje i dnevna kolebanja razine mora koja dodatno utječu na dinamiku unutar vodonosnika. Stoga, stvarna granica kontakta odnosno zona miješanja je puno tanja i promjenjivija u prostoru od pretpostavljene (Ožanić, 2007).

Prekomjernim crpljenjem razina podzemne vode se spušta u odnosu na prirodno stanje vodonosnika te se time mijenjaju ravnotežni uvjeti. Kao posljedica na to je pomicanje granice slane vode prema gornjim dijelovima vodonosnika u kojem su prethodno vladali slatkovodni uvjeti. Takav scenarij u konačnici dovodi do opasnosti od povećanog saliniteta na samom crpilištu (Ožanić, 2007).

Na izvorištu Novljanska Žrnovnica prvi puta su zabilježeni problemi povećanja saliniteta još početkom sedamdesetih godina. Tada se taj problem pokušao riješiti pomoću injekcijske zavjese kojom bi se odvojila slatkovodna masa od morske vode. Sam zahvat

je prošao uspješno te se time značajno poboljšala kakvoća vode na zahvatu Stara kaptaza. Injekcijska zavjesa je izvedena između kaptaznog zahvata i obale pomoću bušotina dugih 145 m, ukupne površine oko 3900 m² (Batić, 1989.).

Zbog razvitka istraživačkih metoda u međuvremenu je zaključeno da su injekcijske zavjese izvedene plitko te se zona miješanja slane i slatke vode odvija na puno većim dubinama, čak i preko 100 m ispod razine mora (Biondić, et al., 2016).

Kasnije je rađena i dopunska injekcijska zavjesa kojoj je cilj bio produbljivanje injekcijskih krila u svrhu zaštite od zaslanjenja, no projektom nisu bili vidljivi značajni rezultati. Daljnji projekti su zaustavljeni zbog ratnih zbivanja, sve dok nije 1993. nije došlo do povećanja klorida na zahvatima Stara i Nova kaptaza. Nakon ratnih zbivanja su pokrenuta ponovna istraživanja (Biondić, et al., 2016).

Istraživanja su podijeljena u dvije skupine. Prvi dio istraživanja se odnosio na efikasnost već postojeće injekcijske zavjese te planiranje izrade treće faze injekcijske zavjese koja bi pridonijela mogućnosti većeg crpljenja uz sprječavanje zaslanjenja (Biondić, et al., 2016).

Drugi dio istraživanja se usmjerio na istraživanja koja bi omogućila dobivanje većih crpnih količina vode uz manje tehničke zahvate na crpilištu, te su tako i započela istražna bušenja koja su podijeljena u dvije zone. Prva zona je zaleđe kaptaze Čardak, a druga zona je povremeni izvor Sušica (Biondić, et al., 2016).

Nakon hidrogeoloških istraživanja dobiveni su vrlo pozitivni rezultati u smislu usmjeravanja radova prema izvedbi novih kaptaznih zahvata u blizini već postojećih te je napuštena ideja o proširenju i produbljenju injekcijske zavjese (Biondić, et al., 2016).

Izvorišna zona Novljanska Žrnovnica se dijeli u dvije skupine, a dijeli se s obzirom na utjecaj prodora slane vode. Trajni izvor Čardak i povremeni izvor Pećina nemaju problem sa zaslanjenjem te tako pripadaju prvoj skupini, dok drugu skupinu izvora čine Stara Kaptaza i Nova Kaptaza na kojima dolazi do periodičnog povećanja saliniteta. Ti izvori leže na dobro propusnim vapnencima i vapnenačkim brečama. Također, treba naglasiti da visinska razlika između izvora Čardak i Pećina u odnosu na izvore druge skupine je dva metra, pa je i sam utjecaj mora na tim izvorima manji (Ostojić Banjad, 2020).

Rađena su vodoistražna bušenja koja su usmjerena prema zaleđu izvora Čardak i Pećina te su time dobiveni rezultati koji ukazuju na mogućnost zahvaćanja vode bez opasnosti

od zaslanjenja, a izvedena su 2015. godine. Isto tako istraživanjem je zaključeno da nema znatnog povećanja električne vodljivosti podzemne vode što je pozitivno s obzirom da postojeći izvori Čardak i Pećina nisu bili dovoljnih crpnih kapaciteta kada dođe do povećanja saliniteta na Staroj kaptaži i kada je potreba za pitkom vodom najveća. Stoga se planira na lokaciji Čardak uključivanje dodatne dvije bušotine PŽ-16 i PŽ-17. Tada bi se crpljenje podzemne vode moglo nesmetano vršiti tijekom razdoblja kada dođe do zaslanjenja na izvorištu Staro i Novo vrelo (Ostojić Banjad, 2020).

Crpljenje se planira u količini od oko 670.000 m³/god, odnosno za bušotinu PŽ-16 je predviđeno ugrađivanje crpke kapaciteta 50 l/s do 100 l/s i biti će frekventno određen s obzirom na raspoloživost podzemne vode. Bušotina PŽ-17 će biti nešto manjeg kapaciteta i planira se crpni kapacitet od 25 l/s. Dodatne količine vode iz obje bušotine bi se sabirnim cjevovodom transportirale do postojećeg okna na lokaciji Čardak (Ostojić Banjad, 2020).

4. ANALIZA KAKVOĆE SIROVE VODE IZVORIŠTA

Kakvoća pitke vode na crpilištu Novljanska Žrnovnica se kontrolira na dva načina. Prvi način provodi Zavod za javno zdravstvo Primorsko – goranske županije te se analiziraju podaci kemijskih analiza koje se provode svakih mjesec dana. Podaci su i sastavni dio Državne mreže opažanja Hrvatskih voda. U Državnu mrežu nisu uključeni zdenci u Triblju te se crpilište Novljanska Žrnovnica uzima kao jedinstveno crpilište.

Drugu obradu kvalitete vode vrši laboratorij Vodovoda „Žrnovnica“. Izvorska voda se uzorkuje i obrađuje svakih nekoliko dana. Za razliku od Državne mreže opažanja, u ovom slučaju obrade kakvoće vode su uključene sve tri kaptaze na crpilištu Novljanska Žrnovnica, dakle izvorište Staro i Novo vrelo te izvorište Čardak. Također, osim crpilišta Novljanska Žrnovnica uzorkuju se i prate zdenci u Triblju (Biondić, et al., 2016).

Kakvoća pitke vode u RH je regulirana Zakonom o vodama za ljudsku potrošnju (NN 56/13., 64/15., 104/17. i 115/18.) Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/17-2848). Pokazatelji te njihove maksimalne dopuštene koncentracije su definirane Okvirnom direktivom o vodama i Direktivom o podzemnim vodama Europske Unije. Za potrebe ove analize uzeti su i korišteni podaci dobiveni od strane Hrvatskih voda – VGO Rijeka, a dobiveni podaci su bilježeni od 13. siječnja 2010. godine do 9. studenog 2021. godine (Biondić, et al., 2016).

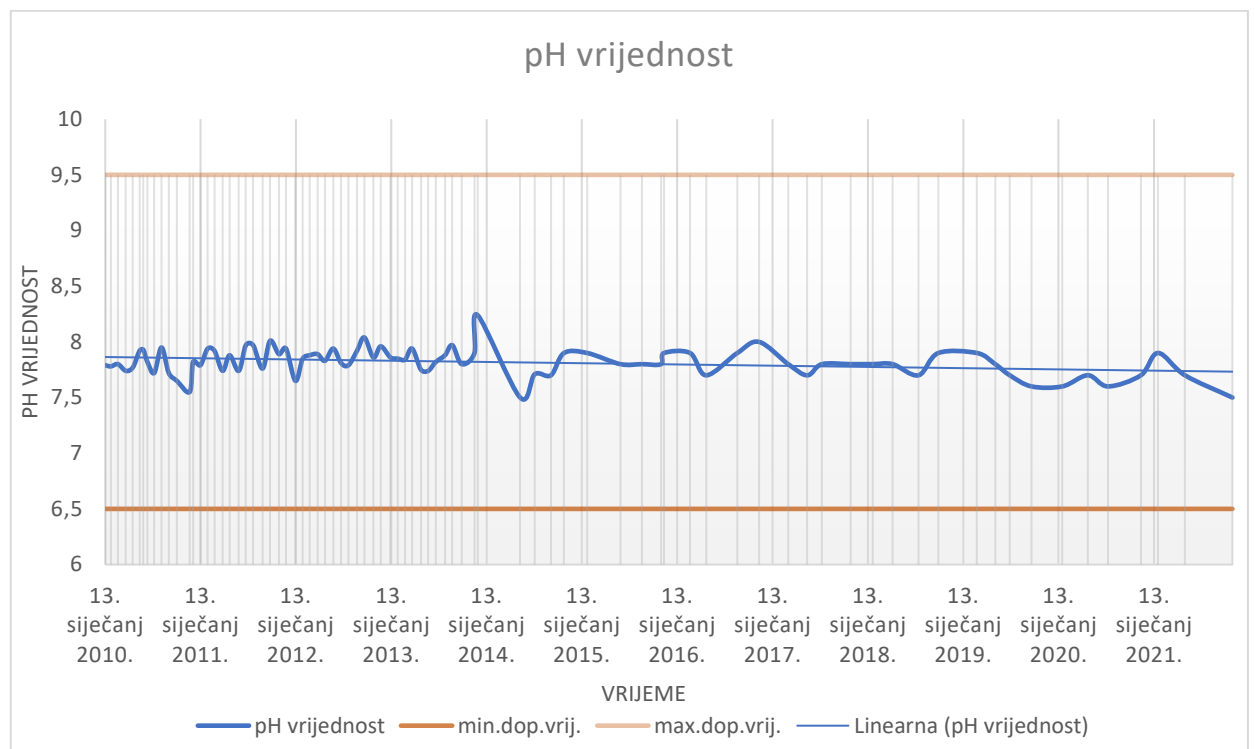
4.1. pH vrijednost

Maksimalna dozvoljena vrijednost pH se kreće od 6,5 do 9,5 prema Pravilniku (NN 125/17), odnosno voda za piće mora biti u tom rasponu. Sve vrijednosti koje se analiziraju nalaze se unutar tog raspona na crpilištu Novljanska Žrnovnica kao što se može vidjeti na grafičkom prikazu (Slika 8.) (NN 125/17, 2017.).

Srednja vrijednost PH na crpilištu Novljanska Žrnovnica analiziranom razdoblju iznosi 7,82 pH. Također uz vrijednost pH mora se obratiti pozornost i na izgled same krivulje trenda. Na Slici 7 se može primijetiti blagi pad vrijednosti.

Ukoliko se pH vrijednost uzorkovane vode kroz godine smanjuje to se povezuje s mikrobiološkim ili kemijskim procesima u prirodnim sustavima kao rezultat onečišćenja. Isto tako treba naglasiti da, ako je padajući trend vrijednosti pH zabilježen na svim

točkama uzorkovanja, pa čak i šire, tada je velika vjerojatnost utjecaja kiselih kiša na sliv koja mogu doći izvan određenog sliva putem oborina (Biondić, et al., 2016).

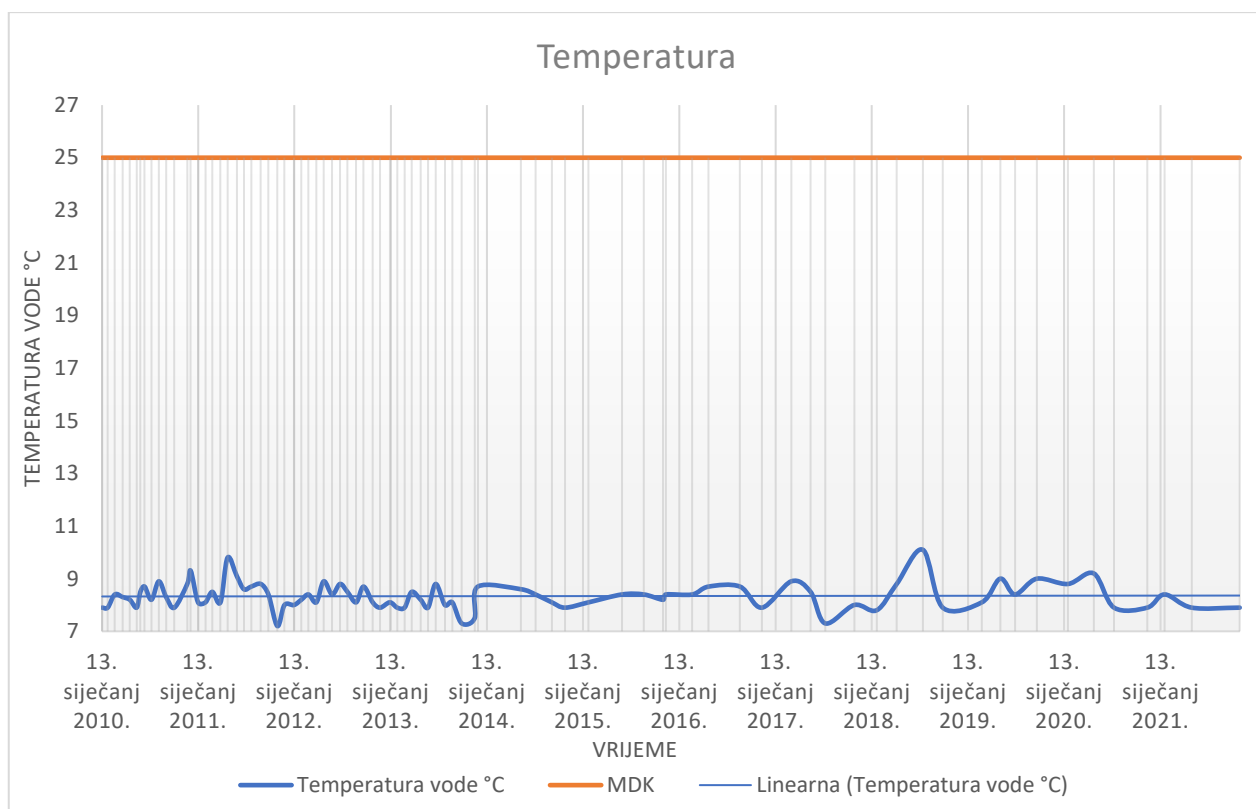


Slika 8. Grafički prikaz vrijednosti pH na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.2. Temperatura

Temperatura je fizikalni pokazatelj kakvoće vode koji je, u slučaju podzemnih voda, relativno konstantan kroz godinu te odražava godišnju srednju temperaturu zraka određenog područja sa kojeg se prihranjuje. Također, praćenje temperature podzemne vode može uvelike doprinijeti u istraživanju porijekla podzemne vode, pa samim time i za predviđanje mogućnosti eksploatacije. Ukoliko dođe do nagle promjene temperature to može ukazivati na onečišćenje vodonosnika. Isto tako ako se linija trenda kroz godine povećava to upućuje na degradaciju kakvoće podzemne vode (Biondić, et al., 2016).

Na crpilištu Novljanska Žrnovnica u razdoblju od 2010. do 2021. godine je zabilježena maksimalna temperatura od 10,10 °C koja je zabilježena u mjesecu srpnju. Srednja temperatura iznosi 8,30 °C za vremensko razdoblje od jedanaest godina (Slika 9.). Maksimalna dopuštena temperaturna granica podzemnih voda iznosi 25 °C, prema važećem Pravilniku (NN 125/17, 2017.).

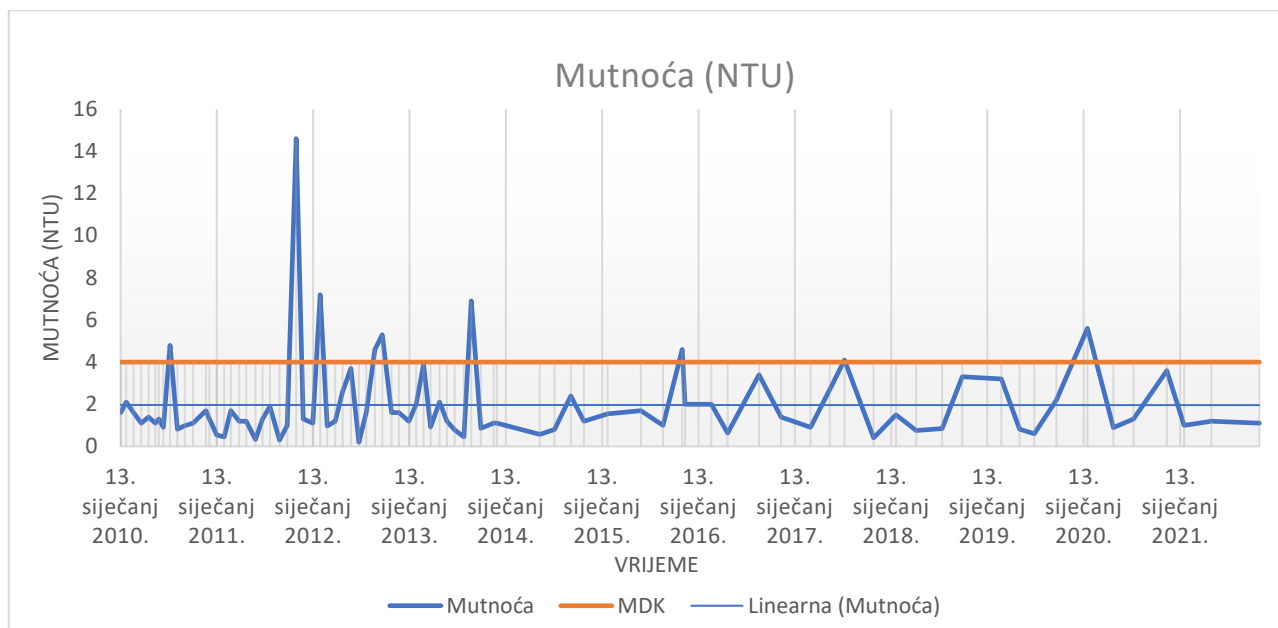


Slika 9. Temperatura vode za crpilište Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.3. Mutnoća

Mutnoća vode je, kao i temperatura vode, fizikalni pokazatelj kakvoće vode odnosno mjera prisutnosti suspendiranih čestica. U krškom području do zamućenja dolazi u vremenu obilnih oborina koje ispiru nesaturiranu zonu vodonosnika, najčešće ta pojava traje dva do tri dana. Mutnoća ovisi i o dubini podzemne vode te o propusnosti krških naslaga. Suspendirane krute čestice u vodi se ponašaju kao jezgra na koju se nakupljaju bakterije, virusi i paraziti, te se u krškom dijelu Hrvatske često povećaju i koncentracije bakterija, no često te koncentracije nisu upitne po ljudsko zdravlje (Služba za zdravstvenu ekologiju, n.d.).

Kao što se može i primijetiti na grafičkom prikazu (Slika 10.), mutnoća više puta prelazi dozvoljenu maksimalnu vrijednost propisanu Pravilnikom (NN 125/17), od 4 NTU, što se pripisuje većim obilnim kišama.



Slika 10. Grafički prikaz mutnoće na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.4. Električna vodljivost

Električna vodljivost je fizikalna veličina koja pokazuje koja tvar može provoditi električnu energiju, a mjerna jedinica SI sustava je Siemens po metru (S/m). Električna vodljivost podzemne vode je vrlo mala pa se izražava u $\mu\text{S}/\text{cm}$, a obično iznosi između 0 i $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$, dok morska voda pri 25°C iznosi oko $50\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Fondriest, 2019.)

Srednja vrijednost električne vodljivosti na crpilištu Novljanska Žrnovnica iznosi $252,74 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ovaj fizikalna veličina je dobar pokazatelj zaslanjenja vodonosnika odnosno pokazatelj je utjecaja mora na vodonosnu sredinu. Također, osim praćenja povećanja NaCl, pokazatelj je i ostalih otopljenih soli kao što su KCl, CaCl_2 , NaHCO_3 , CaSO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (Biondić, et al., 2016).

Naglo povećanje ili smanjenje električne vodljivosti može ukazivati na pojavu onečišćenja, primjerice, poljoprivrednim otjecanjem ili istjecanje iz kanalizacijskih sustava povećat će se vodljivost zbog dodatnih kloridnih, fosfatnih i nitratnih iona. Sa druge strane, incidentna situacija izlivanja nafte ili dodavanje nekih drugih organskih spojeva smanjiti će električnu vodljivost (Fondriest, 2019.).

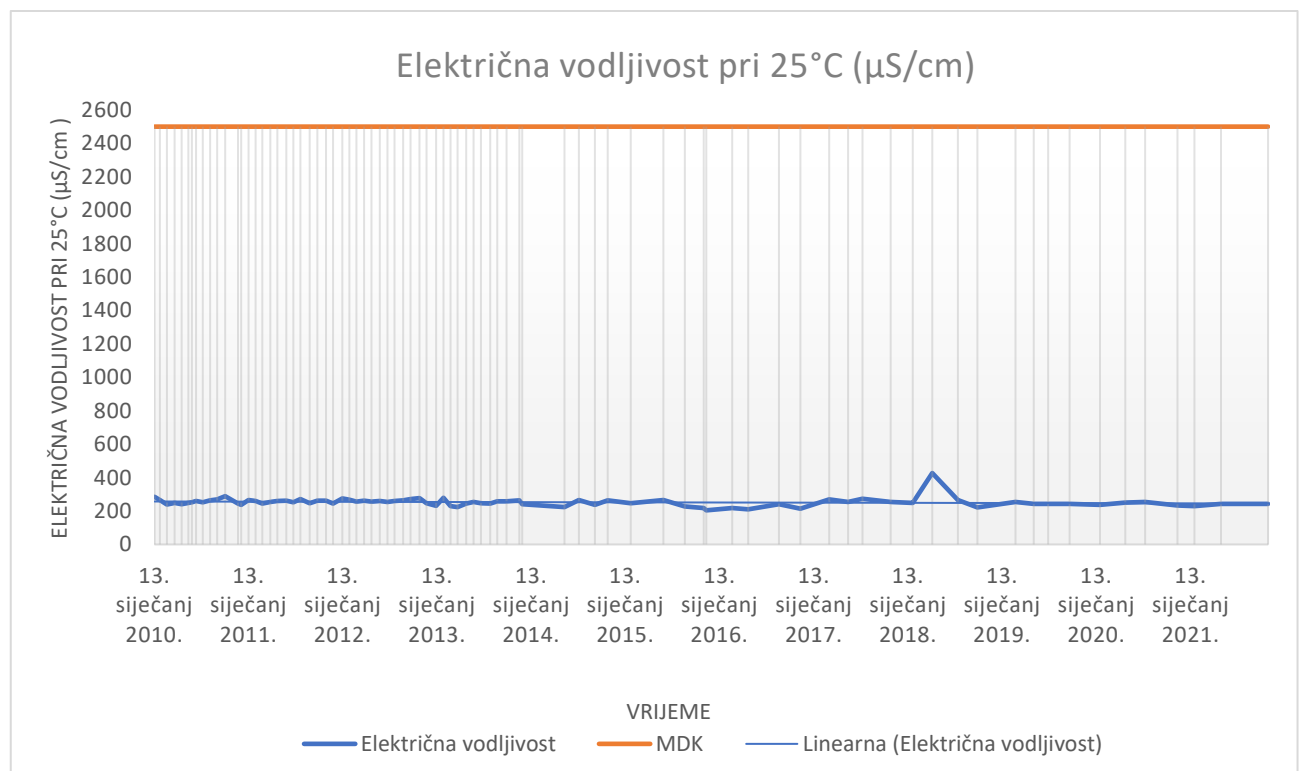
Maksimalna dozvoljena vrijednost električne vodljivosti vode za piće iznosi $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ koja je određena Pravilnikom (NN 125/17, 2017.).

Kao i kod vrijednosti pH, prati se linija trenda električne vodljivosti koja je na crpilištu Novljanska Žrnovnica od 2010. do 2021. godine gotovo ustaljena.

Ranije je opisano da ovo crpilište je karakteristično po utjecaju mora na vodonosnik tijekom ljetnih razdoblja kada je potreba za pitkom vodom najveća s obzirom da se radi o turističkoj sezoni. U tim razdobljima je zabilježen blagi porast električne vodljivosti zbog prekomjernog crpljenja te zbog blizine mora (Biondić, et al., 2016).

Kao što se može primijetiti na grafičkom prikazu (Slika 11.), maksimalna zabilježena vrijednost električne vodljivosti iznosi 427 $\mu\text{S}/\text{cm}$ u mjesecu travnju 2018. godine, što ne premašuje maksimalnu dozvoljenu vrijednost.

Treba imati na umu da se uzorkovanje vrši svakih mjesec dana te da je vrijednost električne vodljivosti možda i premašila maksimalnu dozvoljenu vrijednost u tom periodu, no nije bila zabilježena. Primjerice, tijekom sušnog razdoblja 2003. godine je prema mjesečnim podacima vrijednost bila daleko ispod maksimalne dozvoljene vrijednosti, dok je prema podacima hidrološkog monitoringa iste godine izmjerena maksimalna vrijednost od 4,79 mS/cm na Staroj kaptazi, što je skoro dva puta veća vrijednost od maksimalne dopuštene vrijednosti za pitku vodu (Biondić, et al., 2016).

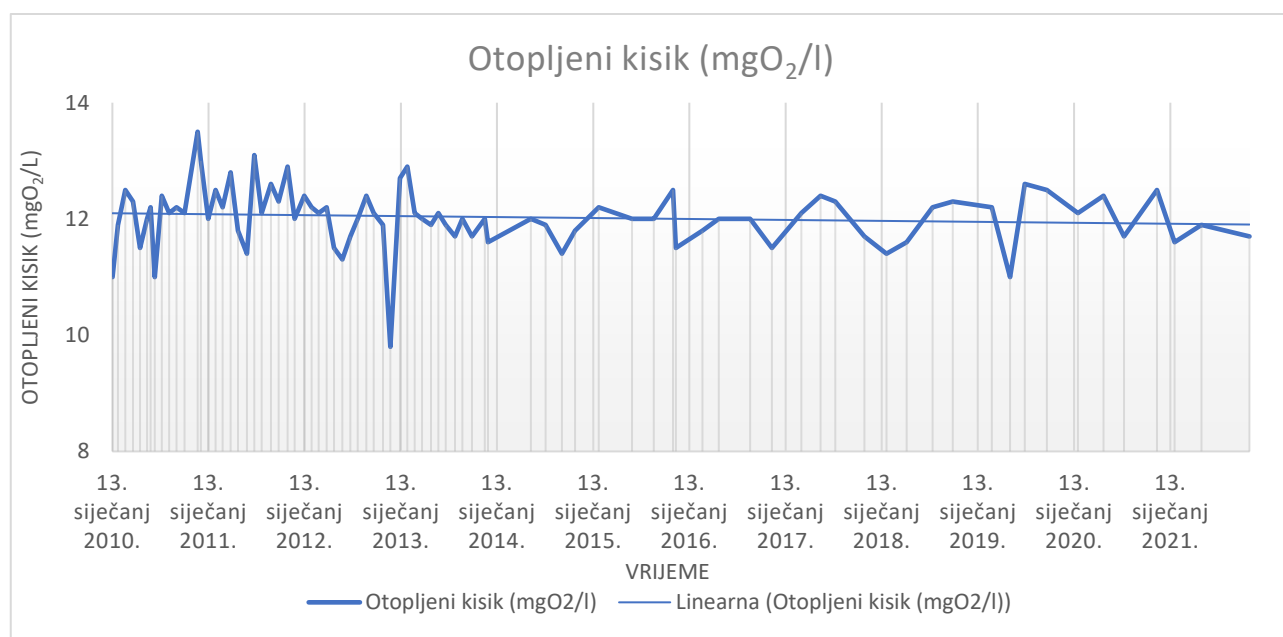


Slika 11. Grafički prikaz električne vodljivosti pri 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.5. Koncentracija otopljenog kisika

Nadalje, otopljeni kisik je mjerilo količine kisika u plinovitom stanju koji se nalazi u vodi, ali se ne nalazi na popisu parametara za provjeru sukladnosti vode za ljudsku potrošnju prema Pravilniku (NN 125/17). No, koncentracija otopljenog kisika je jedan od pokazatelja onečišćenja podzemnih voda (Biondić, et al., 2016).

Onečišćenje može biti prirodno i antropogeno. Kada je riječ o antropogenom onečišćenju, koncentracija otopljenog kisika je manja od 7 mg/L, a kada govorimo o smanjenju koncentracije ispod 3 mg/L tada je riječ i o eutrofikaciji. Na crpilištu nisu primijećene koncentracije manje od 7mg/ L (Slika 12.) te je antropogeno onečišćenje zanemarivo. Srednja vrijednost otopljenog kisika iznosi 12,02 mg/L (Biondić, et al., 2016).



Slika 12. Grafički prikaz vrijednosti otopljenog kisika na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.6. Nitrati

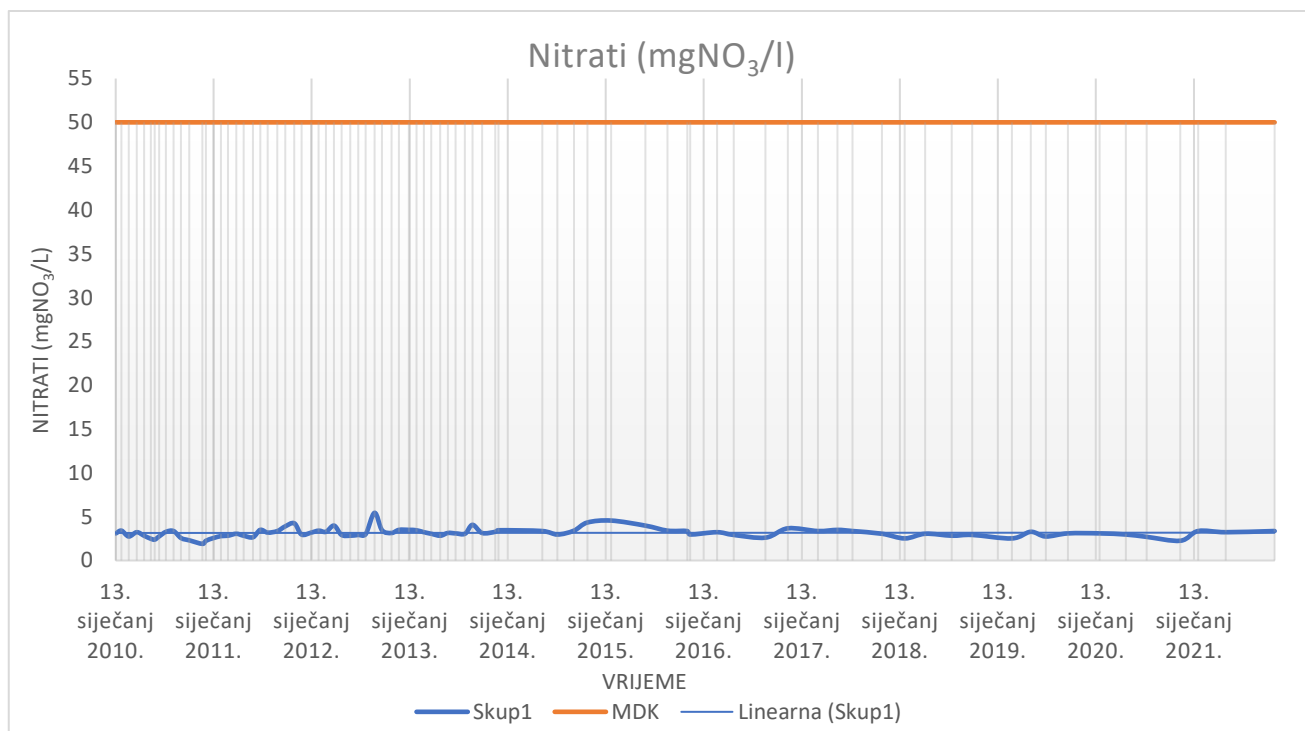
Zadnjih nekoliko godina se sve veća pozornost obraća na onečišćenje podzemnih voda nitratima. Povećana koncentracija nitrata ukazuje na korištenje velikih količina gnojiva u poljoprivrednoj proizvodnji, odnosno dušika kao nutrijenta za ishranu bilja. Korištenje

velikih količina gnojiva može u konačnici dovesti do onečišćenja vodonosnika te utjecati na proces eutrofikacije (Romić & Krička, 2014.).

U Pravilniku (NN 125/17) je navedena maksimalna granična vrijednost za koncentraciju nitrata i iznosi 50 mg/L NO_3^- , a veće koncentracije od te vrijednosti mogu biti štetne za zdravlje ljudi (NN 125/17, 2017.).

Na crpilištu Novljanska Žrnovnica unutar jedanaest godina nije zabilježena koncentracija veća od maksimalne dopuštene vrijednosti te su izmjerene koncentracije znatno niže od MDK vrijednosti. Kao što se može primijetiti i na grafičkom prikazu (Slika 13.), vrijednosti za analizirano područje se kreću od otprilike 2 mg/L NO_3^- pa do maksimalno zabilježene vrijednosti 5,44 mg/L NO_3^- koja je zabilježena 2012. godine (Ministarstvo zdravstva, 2017.).

Također, dušični spojevi poput amonijaka, amonijevog iona i nitrita u vodu dolaze preko prirodnih ili umjetnih gnojiva koja se koriste za poljoprivrednu proizvodnju, raspadanjem organizama, padalinama, ispuštanjem tehnoloških i komunalnih otpadnih voda u ekosustav. Svi navedeni dušični spojevi od 2010. godine do 2021. godine su u zanemarivim koncentracijama (Biondić, et al., 2016).



Slika 13. Grafički prikaz koncentracije nitrata u odnosu na vrijeme na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.7. Pesticidi

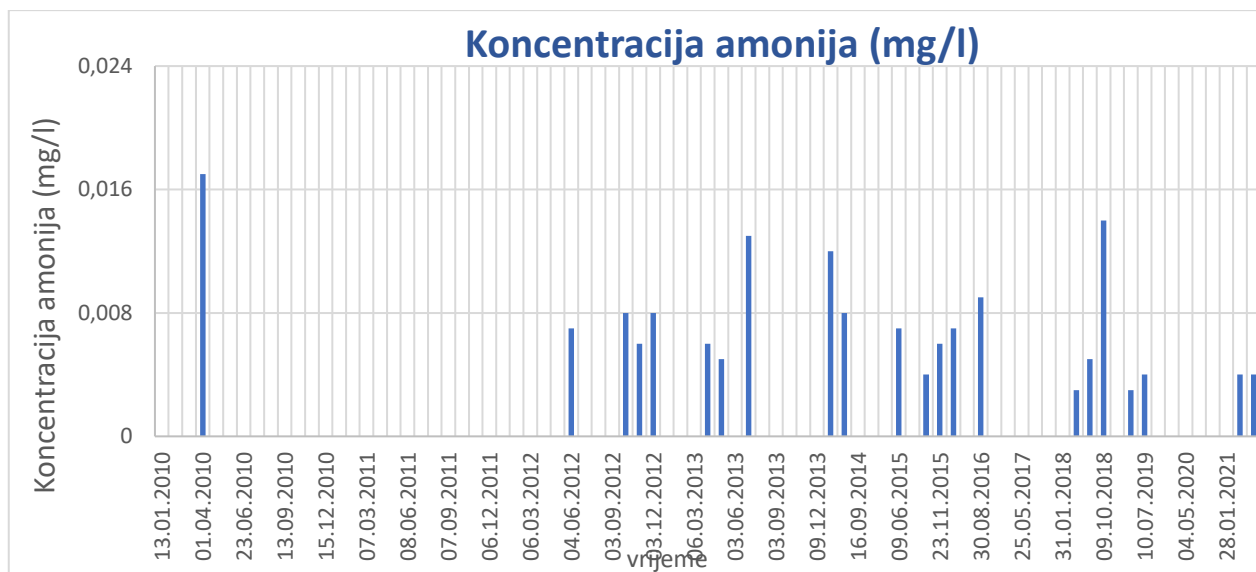
Korištenje pesticida omogućava velike prinose u poljoprivrednoj proizvodnji kako bi se zadovoljile ljudske potrebe. Pesticidi u vodene sustave završe nepropisanim korištenjem, te mogu imati posljedice na ljudski i životinjski organizam ukoliko se nalaze u koncentracijama većim od propisanih (Špelić, et al., 2022.).

Prema Pravilniku (NN 125/17), maksimalna dozvoljena vrijednost je 0,5 µg/l (NN 125/17, 2017.).

Od 2010. do 2021. godine ovom analizom nije zabilježena promjena koncentracija pojedinih pesticida u podzemnoj vodi, odnosno svi pesticidi se nalaze ispod granica detekcije.

4.8. Amonijev ion

Amonijev ion, NH_4^+ , je kation relativno bezopasan i povezan je sa niskim pH u sustavu. U uzorkovanoj vodi u periodu od 2010. do 2021. godine su izmjerene koncentracije amonijevog iona, u većini slučajeva, ispod granice identifikacije (Slika 14.). Prema trenutno važećem Pravilniku (NN 125/17), maksimalna dopuštena granica iznosi 0,5 mg/L (NN 125/17, 2017.).



Slika 14. Grafički prikaz koncentracije amonijevog iona na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.9. Ortofosfati

U podzemnim vodama se fosfor nalazi u obliku fosfata, koji se dijele na ortofosfate, polifosfate i organski vezane fosfate. Fosfor je potreban biljkama za rast pa se ortofosfati pridodaju u poljoprivredi kao umjetno gnojivo te ispiranjem završavaju u podzemnim vodama. Isto tako, povišene koncentracije ortofosfata mogu ukazivati i na procjeđivanje kanalizacijskih voda ili procjeđivanje septičkih jama. Veće količine fosfata ne predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi, ali mogu utjecati na proces eutrofikacije (Kuveždić, 2016.).

Dopuštena koncentracija ortofosfata je iznosila 0,3 mg/L, ali je ta vrijednost vrijedila prema starom pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 125/17, 2017.). Maksimalna vrijednost ortofosfata na crpilištu Novljanska Žrnovnica u periodu od 2010.-2021. iznosi 0,01 mg/L. No, današnjim Pravilnikom (NN 125/17) i Zakonom (NN 56/13) ortofosfati nisu navedeni kao jedan od pokazatelja kakvoće pitke vode (Biondić, et al., 2016).

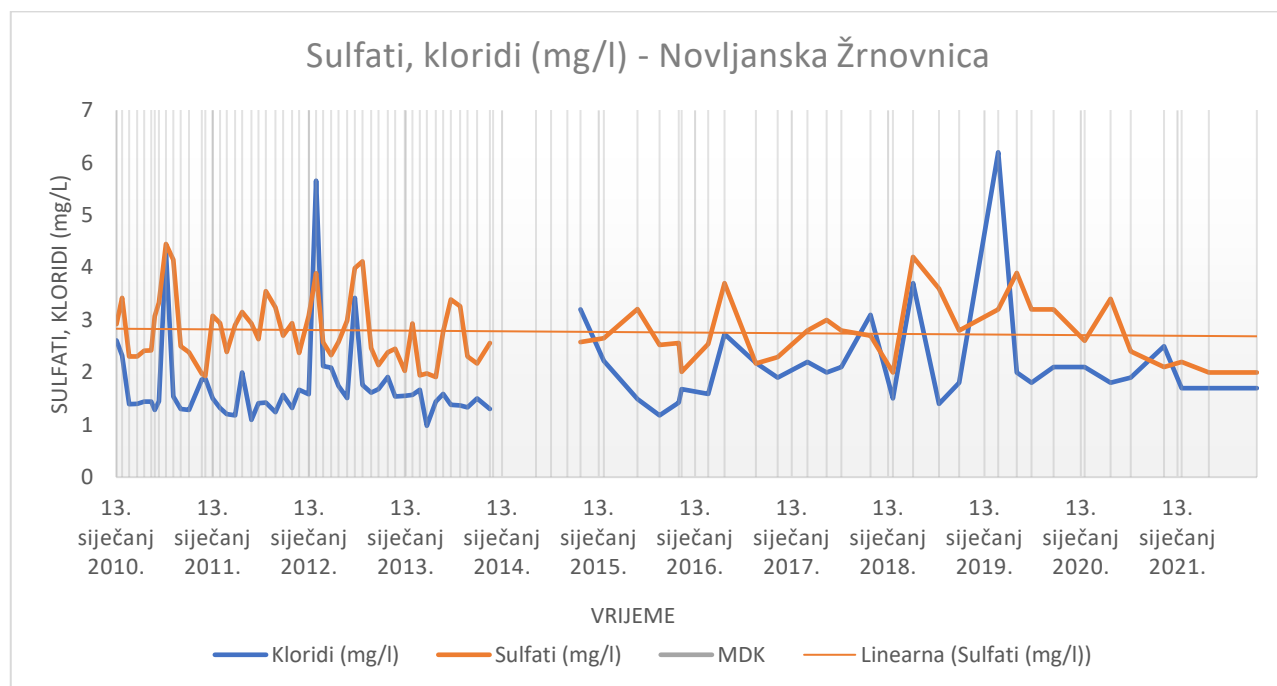
4.10. Kloridi i sulfati

Povišene koncentracije klorida se javljaju zbog procesa otapanja soli koje se nalaze u sedimentima ili kao produkt razgradnje minerala koji u svom sastavu sadrže klor.

Također, jedan od najčešćih uzroka povećanja koncentracije klorida je utjecaj morske vode koji se javlja najčešće na izvorištima u blizini obale. Očekivano je da se na izvorištu Novljanska Žrnovnica koncentracija klorida blago povisi u vremenu sušnih ljetnih razdoblja, no ta promjena nije evidentirana u analizi od 2010. – 2021. godine. Povećanje koncentracije klorida može se zabilježiti u samo par dana jer se nakon toga koncentracija klorida vraća na prirodnu koncentraciju. Tako da, isto kao i kod električne vodljivosti, podaci analize Državne mreže opažanja se ne mogu uzeti kao validni s obzirom da se uzorkuju samo jednom mjesečno (Biondić, et al., 2016).

Koncentracija klorida se izražava u mg/L, a maksimalna dopuštena granica iznosi 250 mg/L prema Pravilniku (NN 125/17) te ta vrijednost vrijedi i za koncentraciju sulfata (NN 125/17, 2017.).

Podzemne vode sadrže otprilike do 100 mg/L sulfata, a potječu iz geoloških slojeva otapanjem gipsa i iz atmosfere. Za crpilište Novljanska Žrnovnica prema podacima Državne mreže opažanja nije evidentiran značajan porast klorida i sulfata (Slika 15.) (Biondić, et al., 2016).



Slika 15. Grafički prikaz koncentracija sulfata i klorida na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

4.11. Ugljikovodici

Ugljikovodici iz mineralna ulja su kemijski spojevi koji se dobivaju obradom ugljena, plina i biomase za dobivanje sirove nafte. U podzemne vode naftni derivati mogu završiti zbog korodiranih podzemnih spremnika ili neadekvatnim punjenjem istih ili pak izlijevanjem cisterne tijekom transporta uslijed nesreće. Danas je, prema Pravilniku (NN 125/17), maksimalna dopuštena koncentracija ugljikovodika 50 µg/L (NN 125/17, 2017.).

Svi uzorkovani uzorci na crpilištu Novljanska Žrnovnica u razdoblju od 2010. do 2021. godine nemaju vrijednosti veće od dopuštene.

4.12. Metali

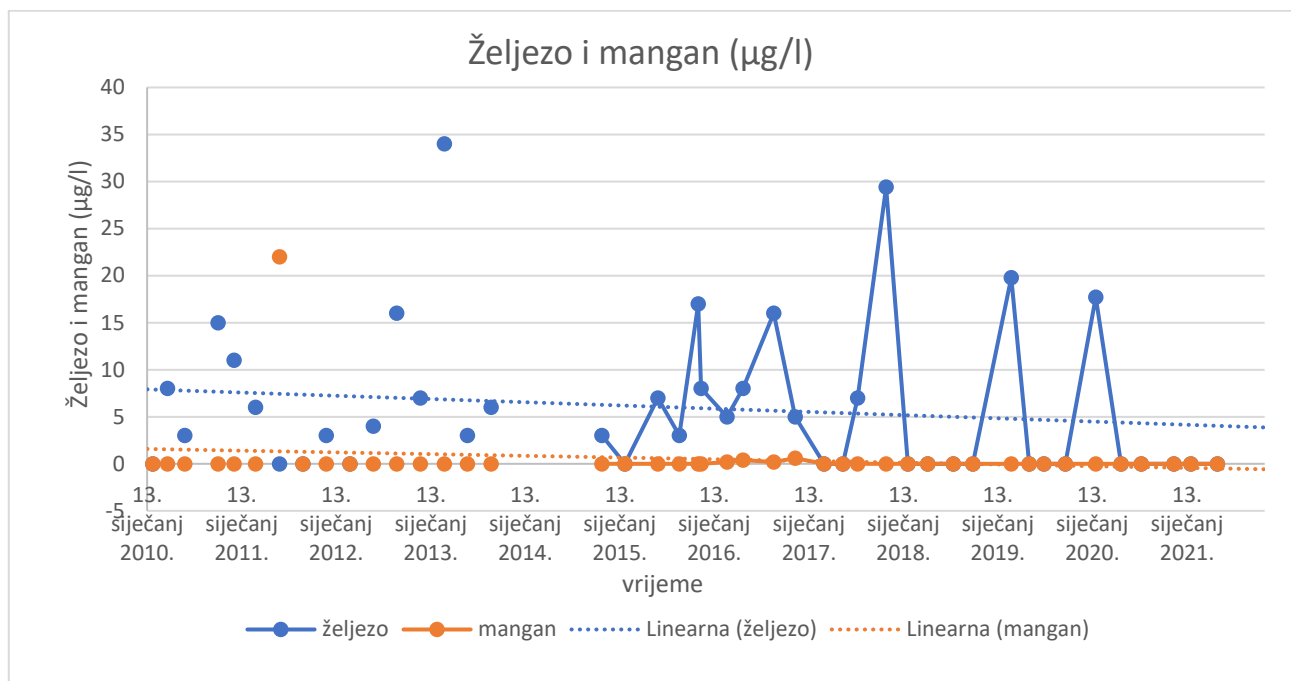
Isto tako, pokazalo se da rudarenje, industrija taljenja metala i tekstilna industrija najviše utječu na onečišćenje okoliša. Metali su potrebni svim živim bićima te se tako nalaze i u podzemnim vodama, a to su natrij, željezo, mangan, aluminij, bakar i cink, no u koncentracijama većim od maksimalne dopuštene vrijednosti spadaju pod toksične metale tj. opasne po zdravlje i okoliš. Kada je riječ o teškim metalima kao što su arsen, krom, kadmij, olovo i živa, oni su posebno opasni po zdravlje ljudi te djeluju kancerogeno (Sharma, 2015.).

Željezo i mangan

Kao što je prethodno navedeno, željezo i mangan dospijevaju u podzemne vode otapanjem minerala i stijena te u rjeđim slučajevima ispuštanjem industrijskih otpadnih voda te nepročišćenim otpadnim vodama okolnih naselja. Isto tako treba naglasiti da veće koncentracije mangana i željeza u podzemnoj vodi mogu biti rezultat procjeđivanja sa odlagališta otpada (Sharma, 2015.). Maksimalna dopuštena koncentracija za željezo je 200 µg/L, a za mangan je 50 µg/L prema Pravilniku (NN 125/17, 2017.).

Niti jedna vrijednost unutar jedanaest godina na crpilištu Novljanska Žrnovnica ne prelazi dozvoljene granice (Slika 16.).

Vrijednosti koncentracija željeza su veće od koncentracija mangana s obzirom da je veća rasprostranjenost željeza u zemljinoj kori. Podzemne vode koje sadrže veće koncentracije mangana su najčešće termalne vode, što nije slučaj ovog crpilišta. (Ešegović, 2016)



Slika 16. Grafički prikaz koncentracija mangana i željeza na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Kadmij

Kadmij pripada metalima koji su opasni za ljudsko zdravlje ukoliko se nalaze u većim količinama. Povećanjem koncentracija kadmija proporcionalno se povećava i koncentracija olova, bakra i cinka, najviše prilikom eksploatacije i obrade istih. Isto tako, veće koncentracije ovih metala se mogu pronaći u podzemnim vodama u blizini odlagališta otpada (Sharma, 2015.).

Maksimalna dopuštena vrijednost kadmija u podzemnoj vodi iznosi 5 µg/L, propisana Pravilnikom (NN 125/17, 2017.). Na crpilištu Novljanska Žrnovnica sve vrijednosti kadmija su ispod maksimalne dopuštene vrijednosti, unutar razdoblja od 2010. do 2021. godine.

Olovo

U svim uzorcima koncentracije olova na crpilištu Novljanska Žrnovnica se nalaze ispod maksimalne dopuštene vrijednosti u razdoblju od 2010. do 2021. godine, koja prema Pravilniku iznosi 10 µg/L (NN 125/17, 2017.).

Živa

Živa je jedan od najtoksičnijih teških metala. U podzemnim i površinskim vodama koncentracija žive iznosi 0,5 µg/L iako zbog mineralnih naslaga mogu se detektirati i veće koncentracije (WHO, 2005.).

U svim uzorcima koncentracija žive na crpilištu Novljanska Žrnovnica se nalazi ispod maksimalne dopuštene vrijednosti u razdoblju od 2010. do 2021. godine, koja prema Pravilniku iznosi 1,0 µg/L (NN 125/17, 2017.).

4.13. Mikrobiološki pokazatelji

U mikroorganizme spadaju bakterije, virusi, paraziti, no praćenje svih patogena je nepraktično pa se iz tog razloga prati samo bakteriološki sastav podzemnih voda. Prati se broj aerobnih bakterija pri 22 °C i 36 °C, broj fekalnih koliforma, broj fekalnih streptokoka, ukupni broj koliformnih bakterija te bakterije *Escherichia coli*.

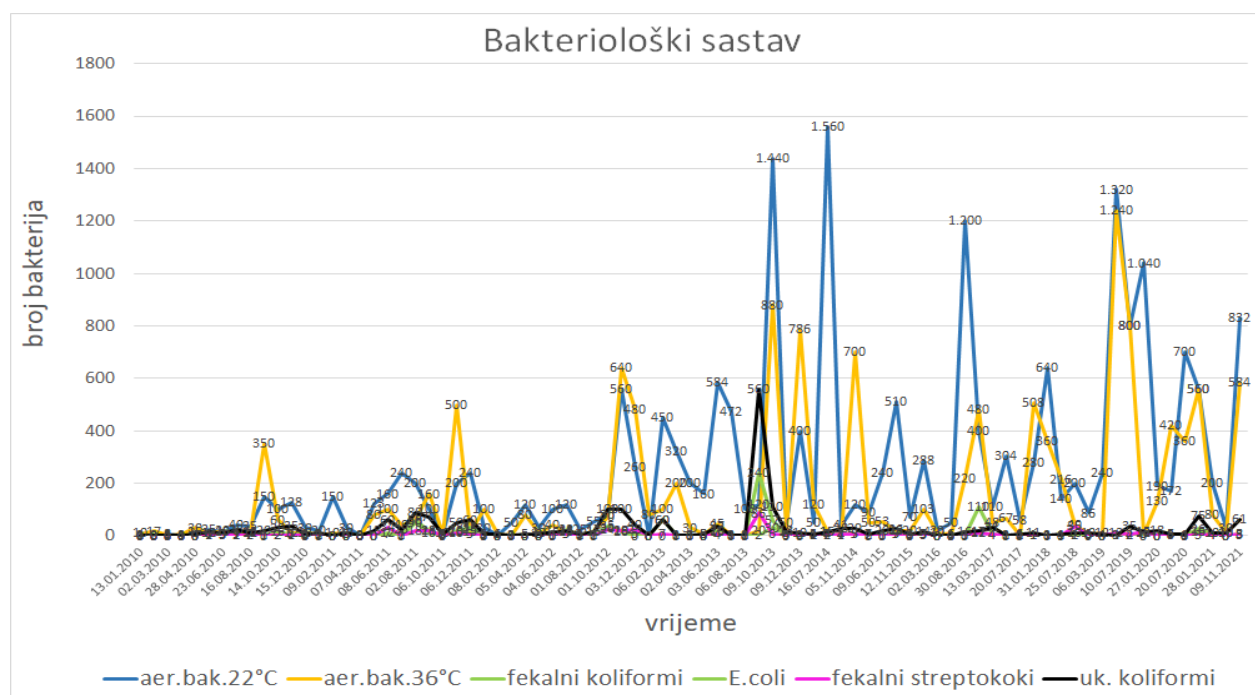
Razlozi nastanka bakterija mogu biti prirodni i antropogeni. Prirodno bakterije nastaju zbog ispiranja nesaturirane zone vodonosnika te odlaze u saturirani dio vodonosnika, a antropogeni uzrok bakteriološkog onečišćenja podzemnih voda je neadekvatno izgrađen sustav odvodnje otpadnih voda naselja. Također, u nekim naseljima ne postoji sustav odvodnje otpadnih voda, što također utječe na povećane koncentracije bakterija u podzemnim vodama (Biondić, et al., 2016).

Često, se pojava povećanih koncentracija bakterija u podzemnoj vodi povezuje sa povećanjem mutnoće, odnosno suspendiranih tvari, izazvanim uslijed obilnih padalina nakon dužeg sušnog perioda, što je slučaj izvorišta Novljanska Žrnovnica. Takvo bakteriološko onečišćenje traje dva do tri dana (Biondić, et al., 2016).

Prema Pravilniku (NN 125/17) ukupnih koliforma, bakterija *E. coli*, fekalnih koliforme i streptokoka ne smije biti, dok maksimalna dozvoljena vrijednost za aerobne bakterije

pri 36 °C iznosi 20 bakterija na jedan mililitar, a za aerobne bakterije pri 22 °C je ta vrijednost 100 (NN 125/17, 2017.).

Mikrobiološki pokazatelji, u većini uzetih uzoraka, na crpilištu Novljanska Žrnovnica u razdoblju od 2010. do 2021. godine prelaze sve dopuštene vrijednosti (Slika 17.).



Slika 17. Grafički prikaz bakteriološkog sastava na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Prikaz kemijskih analiza kakvoće sirove vode na crpilištu Novljanska Žrnovnica su prikazani u Tablici 1. prema rezultatima analize u razdoblju od 2010. do 2021. godine dobivenih od Zavoda za javno zdravstvo Primorsko – goranske županije.

Prikazani su fizikalno – kemijski parametri, hranjive tvari, ioni metali, organski spojevi te mikrobiološki pokazatelji, njihovi zabilježeni minimumi i maksimumi te srednje vrijednosti za svaki parametar u razdoblju od jedanaest godina.

Kakvoća sirove izvorske vode je prema analizama vrlo dobre kvalitete. Svi parametri ne prelaze maksimalne dopuštene vrijednosti propisane Zakonom i Pravilnikom, osim parametara za ukupno suspendirane tvari, paralelno tomu, maksimalnu dopuštenu vrijednost prelazi i parametar mutnoće, te svi mikrobiološki parametri. Razlog povećanja ovih vrijednosti su rezultat obilnih padalina nakon sušnih razdoblja. Povećanje

bakteriološkog sastava u tom vremenu se rješava kloriranjem vode na izvorištu te je kao takva kemijski ispravna za upuštanje u vodoopskrbni sustav (Biondić, et al., 2016).

Tablica 1. Prikaz kakvoće sirove vode na crpilištu Novljanska Žrnovnica.

PARAMETAR	RAZDOBLJE	BR. ANALIZA	MINIMUM	MAKSIMUM	PROSJEČNA VRIJEDNOST	MDK	BR. AN. > MDK
FIZIKALNO - KEMIJSKI PARAMETRI							
Temperatura (°C)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	7,2	10,1	8,3	25	0
Boja (mg/l Pt/Co skale)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	-	-	-	bez	0
Mutnoća (*NTU)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	0,3	14,6	2	4	9
Miris	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	-	-	-	bez	0
Koncentracija vodikovih iona (pH)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	7,5	8,2	7,8	6,5-9,5	0
Elektrovodljivost (µS/cm)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	204	427	252,7	2500	0
Ukupne suspenzije (mg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	2,1	104	13,3	10	2
HRANJIVE TVARI							
Amonij ion (mgNH4+ /l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	0,003	0,017	0,007	0,5	0
Nitrati (mg NO3 - /l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	0,430	1,230	0,713	50	0
IONI							
Fosfati (µg P/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	82	0,01	0,072	0,02	300	0
Natrij (mg Na+/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	49	0,99	1,9	1,34	200	0
Kalij (mg K+/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	49	0,16	0,65	0,22	12	0
Kloridi (mg/l Cl-)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	78	0,98	6,2	1,89	250	0
Sulfati (mg/l SO4-)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	78	1,91	4,45	2,79	250	0
METALI							
Kadmij (µg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	48	0,02	0,03	0,025	5	0
Mangan (µg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	44	0,2	22	4,68	50	0
Olovo (µg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	48	0,12	0,12	0,12	10	0
Željezo (µg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	44	3	34	10,476	200	0
Živa (µg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	48	0,04	0,05	0,045	1	0
ORGANSKI SPOJEVI							
Ugljikovodici (µg/l)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	44	0,5	1,6	0,91	50	
MIKROBIOLOŠKI POKAZATELJI							
Ukupni koliformi (n/100 ml)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	81	0	560	27	0	52
Escherichia coli (n/100 ml)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	81	0	240	8,20	0	52
Aer.mez.bakterije 37°C/48h (n/1 ml)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	81	0	1240	153,22	20	43
Aer.mez.bakterije 22°C/72h (n/1 ml)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	81	0	1560	250,57	100	45
Fekalni koliformi (n/100 ml)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	81	0	110	7,05	0	77
Fekalni streptokoki (n/100 ml)	13. siječanj 2010.- 9. studeni 2021.	81	0	86	5,04	0	47

5. ZAKLJUČAK

Podzemne vode čine 12 % ukupnih količina vode u Hrvatskoj, a njihovu važnost najbolje pokazuje podatak da je 83 % javne vodoopskrbe u 2020. godini došlo iz zaliha podzemnih voda. Zbog njihove bolje zaštićenosti od vanjskog onečišćenja, podzemne vode predstavljaju najpogodniji izvor vode za piće, a u Hrvatskoj kvaliteta podzemnih voda je iznimna u odnosu na podzemne vode u visoko razvijenim zemljama.

Hrvatska eksploatira veliki udio pitke vode iz obalnih krških vodonosnika. U većini slučajeva, tijekom zimskih mjeseci opskrba vodom nije problem, dok u ljetnim sušnim razdobljima zbog većih potreba i prekomjerne eksploatacije dolazi do mogućih problema opskrbe vodom. Na mjestima uvala i graničnim područjima velikih strukturnih formi gdje je more dublje usječeno u kopno, krški vodonosnici su bočno otvoreni prema moru i tu se mogu javiti prodori slane vode duboko u prostor kopna što je slučaj i na izvorištu Novljanska Žrnovnica, koji je zabilježen još sedamdesetih godina prošlog stoljeća.

U prošlom stoljeću su se problemi povećanja saliniteta pokušavala riješiti presijecanjem mjesta na kojima morska voda prodire prema slatkoj vodi izgradnjom injekcijskih zavjesa, međutim, taj koncept je danas napušten zbog njihove neučinkovitosti.

Kontinuiranim praćenjem i proučavanjem geoloških, morfoloških, hidroloških i hidrogeoloških odnosa i korištenjem različitih parametara moguće je postaviti detaljnije hipoteze o načinu intruzije slane morske vode u vodonosnik. Hidrološko i hidrogeološko funkcioniranje svakog pojedinog izvora je jedinstveno te su se istraživanja preusmjerila detaljnije u tom pogledu. Isto tako važno je pronaći nove izvore koji mogu potencijalno biti korisni za opskrbu vodom.

Buduća istraživanja trebaju se usmjeriti prema izvorištu Čardak na kojemu se pretpostavlja da se mogu crpiti dodatne količine kvalitetne vode. Tijekom 2014. godine izvedene su istražno eksploatacijske bušotine PŽ-16 i PŽ 17, dok su istražni radovi na izdašnosti provedeni tijekom 2015. godine, te je na PŽ-16 procijenjena izdašnost od 150 l/s (čak i u sušnim razdobljima), dok su za PŽ-17 preporučena još dodatna ispitivanja izdašnosti.

Prema rezultatima analize u razdoblju od 2010. do 2021. godine dobivenih od Zavoda za javno zdravstvo Primorsko – goranske županije, kakvoća sirove izvorske vode je vrlo dobre kvalitete.

Povremeno su povišeni parametri za ukupno suspendirane tvari, mutnoću, a razlog povremeno povišenih vrijednosti su rezultat obilnih oborina nakon sušnih razdoblja kada dolazi do spiranja podzemlja. Mikrobiološki parametri su povišenih vrijednosti što je rezultat neodgovarajuće odvodnje naselja u uzvodnom dijelu sliva. Ostali parametri su ispod maksimalno dopuštenih koncentracija.

6. POPIS LITERATURE

- Banjad Ostojić et al., 2020.. *Crpljenje podzemnih voda iz bušotina -16 i PŽ-17 na k.č. 3374, sa rekonstrukcijom crpne stanice Novljanska Žrnovnica*, Zagreb: Institut IGH, d.d..
- Batić, V., 1989.. *Izvorište Novljanska Žrnovnica. Dopunska injekcijska zavjesa. Završni elaborat i projekt osmatranja djelovanja zavjese..* Zagreb: Arhiv Elektroprojekt.
- Biondić, R., 2020. *Merlin*. [Mrežno].
- Biondić, R., Biondić, B. & Kapelj, S., 1999. *Izvorište Novljanska Žrnovnica - hidrogeološka istraživanja*, Zagreb: an.
- Biondić, R., Biondić, B. & Meaški, H., 2012. *Water supply spring zone Novljanska Žrnovnica*, Varaždin: an.
- Biondić, R. i dr., 2009. *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj*, s.l.: an.
- Biondić, R., Meaški, H. & Biondić, B., 2016. *Zone sanitarne zaštite izvorišta vode za ljudsku potrošnju na crkveničko - vinodolskom području*. s.l.:an.
- Ešegović, R., 2016. *Željezo i mangan u podzemnim vodama istočne Slavunije*. [Mrežno]
Available at:
<https://repositorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A312/datastream/PDF/view>
- Fondriest, 2019.. *Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids*. [Mrežno]
Available at: <https://mrccc.org.au/wp-content/uploads/2013/10/Water-Quality-Salinity-Standards.pdf>
- Kuveždić, Z., 2016.. *Utjecaj godišnjih doba na učinkovitost biološke obrade otpadnih voda grada Vinkovaca*. [Mrežno]
Available at: <http://zpio.unios.hr/wp-content/uploads/radovi/spec.rad/zorica.kuvezdic.pdf>
- Ministarstvo zdravstva, 2017.. *Narodne novine*. [Mrežno]
Available at: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_12_125_2848.html
- 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*. *Narodne novine*, 125(125), p. 32.
- Ostojić Banjad, B., 2020. *Crpljenje podzemnih voda iz bušotina PŽ-16 i PŽ-17 sa rekonstrukcijom crpne stanice Novljanska Žrnovnica*. Zagreb: an.
- Ožanić, N., 2007. *Priručnik za hidrotehničke melioracije*. Rijeka: an.

Romić, D. & Krička, T., 2014.. *Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u RH*. [Mrežno]

Available at:

https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/utjecaj_poljoprivrede_na_oneciscenje_povrsinskih_i_podzemnih_voda_u_republici_hrvatskoj.pdf

Sharma, S., 2015.. *Heavy Metals in Water*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Sl. nov. PGŽ, 2016. *Službene novine Primorsko-goranske županije*. [Mrežno]

Available at: <http://www.sn.pgz.hr/default.asp?Link=odluke&id=34587>Službene novine

Služba za zdravstvenu ekologiju, n.d. *Nastavni zavod za javno zdravstvo*. [Mrežno]

Available at: <https://nzjz-split.hr/mutnoca-vode-i-zdravstveni-rizik/>

Špelić, I., Bažok, R. & Piria, M., 2022.. *Pesticidi u vodama*. [Mrežno]

Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/399679>

WHO, 2005.. *Guidelines for drinking-water quality*. s.l.:an.

7. POPIS SLIKA

Slika 1. Skica trasiranja podzemnih tokova u slivu Novljanska Žrnovnica (Biondić, et al., 2016).

Slika 2. Kartografski prikaz zona istjecanja rijeke Like i Gacke: Povile, Tepla, Novljanska Žrnovnica, Klenovica i Smokvica

Slika 3. Tlocrtni prikaz vodocrpilišta Novljanska Žrnovnica (Biondić, et al., 2016).

Slika 4. Prikaz granica slivnih područja te značajnijih krških izvora i crpilišta javne vodoopskrbe (Biondić, 2020).

Slika 5. Karta tokova rijeke Like i Gacke s ucrtanim hidroenergetskim objektima (Biondić, 2020).

Slika 6. Kriteriji za određivanje zona sanitarne zaštite prema Pravilniku (NN 66/11; NN 47/13) (Biondić, et al., 2016).

Slika 7. Međuodnos slatke i slane vode prema Ghyben - Hertzbergovom hidrostatskom zakonu (Ožanić, 2007)

Slika 8. Grafički prikaz vrijednosti pH na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 9. Temperatura vode za crpilište Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 10. Grafički prikaz mutnoće na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 11. Grafički prikaz električne vodljivosti pri 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 12. Grafički prikaz vrijednosti otopljenog kisika na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 13. Grafički prikaz koncentracije nitrata u odnosu na vrijeme na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 14. Grafički prikaz koncentracije amonijevog iona na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 15. Grafički prikaz koncentracija sulfata i klorida na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 16. Grafički prikaz koncentracija mangana i željeza na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

Slika 17. Grafički prikaz bakteriološkog sastava na crpilištu Novljanska Žrnovnica 2010.-2021.

8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz kakvoće sirove vode na crpilištu Novljanska Žrnovnica