

# Analiza razina podzemnih voda i monitoring na vodocrpilištu Vinogradi u Osijeku (2016.-2020.)

---

**Bašić, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:704129>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**ANALIZA RAZINA PODZEMNIH VODA I MONITORING  
NA VODOCRPILIŠTU VINOGRADI U OSIJEKU (2016.-2020.)**

Diplomski rad

Ivan Bašić  
GI 333

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-04/21-01/261  
URBROJ: 51-70-15-21-2  
U Zagrebu, 14. 2. 2022.

Ivan Bašić, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/261, URBROJ: 51-70-15-21-1 od 2. 11. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### ANALIZA RAZINA PODZEMNIH VODA I MONITORING NA VODOCRPILIŠTU VIPOGRADI U OSIJEKU (2016.-2020.)

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Željko Duić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Željko Duić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

ANALIZA RAZINA PODZEMNIH VODA I MONITORING  
NA VODOCRPILIŠTU VINOGRADI U OSIJEKU (2016.-2020.)

Ivan Bašić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom diplomskom radu analiziran je utjecaj količine oborina i crpnih količina u zdencima na promjene razine podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu vodocrpilišta Vinogradi, imajući u obzir udaljenost opažaćkih objekata od linije eksploatacijskih zdenaca. Analizirani su podaci o oborinama i crpnim količinama prikupljeni u razdoblju od siječnja 2016. godine do prosinca 2020. godine. Podaci su obrađeni u računalnom programu Microsoft Excel, a rezultati su prikazani kao nivogrami karakterističnih aktivnih piezometara, odnosno piezometarskih gnijezda koji se opažaju u okviru monitoringa vodocrpilišta Vinogradi u Osijeku.

Ključne riječi: vodocrpilište, količina oborine, razina podzemne vode, crpne količine,

Diplomski rad sadrži: 48 stranica, 5 tablica, 49 slika i 12 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Željko Duić

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Željko Duić

Prof. dr. sc. Kristijan Posavec

Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov

Datum obrane: 17. veljače 2022.

ANALYSIS OF GROUNDWATER LEVEL AND MONITORING  
OF THE WELL-FIELD VINOGRADI IN OSIJEK (2016.-2020.)

Ivan Bašić

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum  
Engineering Department of Geology and  
Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The thesis analyses the impact of rainfall and pumping rates on groundwater level oscillations in the captured aquifer of the well-field Vinogradi, given the distance of the observed objects from the pumping wells line. The data of rainfall and pumping rates collected between January 2016 and December 2020 was analyzed using the Microsoft Excel computer program. Results are shown as hydrographs of all the characteristic piezometers in that aquifer area in monitoring of current wells.

Keywords: well-field Vinogradi, rainfall, groundwater level, pumping rates

Thesis contains: 48 pages, 5 tables, 49 figures and 12 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Associate Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Associate Professor Željko Duić, PhD

Full Professor Kristijan Posavec, PhD

Associate Professor Jelena Parlov, PhD

Date of defense: February 17, 2022.

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Opis istraživnog područja.....	2
2.1 Geografski položaj istraživnog područja.....	2
2.2 Geološke značajke istraživnog područja.....	3
3. Hidrogeološke značajke porječja rijeke Drave.....	7
4. Izgrađeno stanje vodocrpilišta Vinogradi.....	8
4.1. Praćenje rada vodocrpilišta.....	10
5. Analiza podataka obuhvaćenih monitoringom vodocrpilišta Vinogradi.....	11
5.1. Oborine.....	11
5.2. Crpne količine.....	12
5.3. Kros-korelacijska metoda.....	25
5.4. Regresijska metoda.....	35
5.5. Kakvoća vode u zdencima i motriteljskoj mreži.....	39
6. Zaključak.....	42
7. Literatura.....	43

### **Popis tablica:**

Tablica 3-1. Prosječne vrijednosti hidrauličkih parametara prema Urumović, 2011.

Tablica 5.1. Mjesečne oborine na meteorološkoj postaji u Osijek za razdoblje 2016.-2020.  
godine (podaci DHMZ-a)

Tablica 5.2. Prikaz vrijednosti koeficijenta korelacije na zadanim piezometrima  
(oborine/RPV)

Tablica 5.3. Prikaz vrijednosti koeficijenta korelacije na zadanim piezometrima  
(crpljenje/RPV)

Tablica 5.4. Vrijednosti osnovnih sastojaka u podzemnoj vodi

### **Popis slika:**

Slika 2-1. Položaj eksploatacijskih zdenaca i piezometara na vodocrpilištu Vinogradi

Slika 2-2. Geološka građa površine terena vodocrpilišta Vinogradi prema OGK 1:100000  
lista Osijek (Magaš, 1987)

Slika 2-3. Regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja (prema  
Urumović i dr., 1978)

Slika 2-4. Litološki profil kvartarnih naslaga zahvaćenih zdencima vodocrpilišta Vinogradi  
(prema Urumović i dr., 1978)

Slika 5-1. Prikaz godišnjih oborina na području Osijeka za razdoblje 2016.- 2020.

Slika 5-2. Prikaz ukupnih crpnih količina prema opažanjima u okviru monitoringa

Slika 5-3. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) udaljenijih piezometara

Slika 5-4. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode

Slika 5-5. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

Slika 5-6. Nivogrami piezometara udaljenih 100-500 m od zdenaca

Slika 5-7. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode

Slika 5-8. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

Slika 5-9. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) piezometarskog gnijezda PZ-4

Slika 5-10. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode

Slika 5-11. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

Slika 5-12. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) piezometarskog gnijezda PZ-9

Slika 5-13. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode

Slika 5-14. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

Slika 5-15. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) piezometarskog gnijezda PZ-7

Slika 5-16. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode

Slika 5-17. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

Slika 5-18. Prikaz koeficijenta korelacije piezometara (crpljenje/RPV)

Slika 5-19. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_2

Slika 5-20. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_4\_1

Slika 5-21. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_4\_3

Slika 5-22. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_4\_4

Slika 5-23. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_5

Slika 5-24. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_6

Slika 5-25. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_8

Slika 5-26. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_9\_2

Slika 5-27. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_2

Slika 5-28. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_3

Slika 5-29. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_

Slika 5-30. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_2



- Slika 5-31. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_3
- Slika 5-32. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_4
- Slika 5-33. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_5
- Slika 5-34. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_6
- Slika 5-35. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_8
- Slika 5-36. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PB\_18
- Slika 5-37. Prikaz regresijskog modela za oborine/dubine do p.v. za piezometar PZ\_2
- Slika 5-38. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PZ\_2
- Slika 5-39. Prikaz regresijskog modela za oborine/dubine do p.v. za piezometar PZ\_7
- Slika 5-40. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PZ\_7
- Slika 5-41. Prikaz regresijskog modela za oborine/dubine do p.v. za piezometar PZ\_9
- Slika 5-42. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PZ\_9
- Slika 5-43. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PB\_14
- Slika 5-44. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PB\_18
- Slika 5-45. Dijagram hidrokemijskoga facijesa podzemnih voda vodocrpilišta Vinogradi

## 1. Uvod

Vodocrpilište Vinogradi je najveće vodocrpilište na području Republike Hrvatske koje zahvaća pjeskovite aluvijalne vodonosne naslage. Predstavlja izvorište vodoopskrbe grada Osijeka od 25. srpnja 1984. godine, kada je uključeno, do danas. Na vodocrpilištu je u pogonu 18 zdenaca s pojedinačnom crpnom količinom od oko 40 l/s.

Zbog važnosti samog vodocrpilišta velika pozornost je bila usmjerena na izgradnju i održavanje monitoringa. Monitoring vodocrpilišta Vinogradi obuhvaća objekte i postupke prikupljanja podataka o režimu rada vodocrpilišta, stanju razina podzemne vode unutar vodonosnog sustava te o kakvoći podzemne vode.

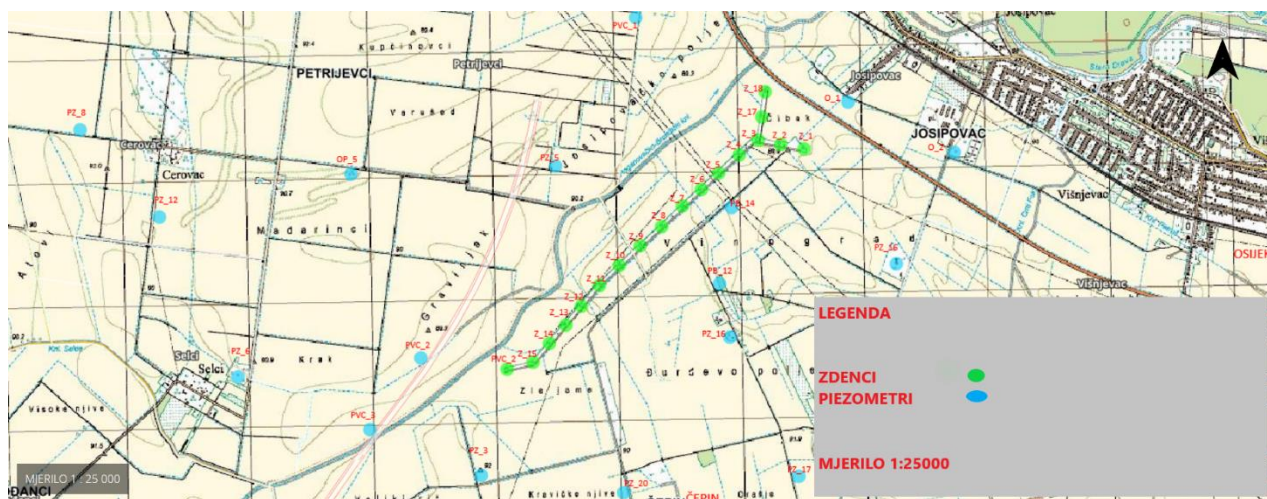
Cilj ovog diplomskog rada je odrediti utjecaj crpljenja i oborina na razinu podzemne vode u eksploatacijskim zdencima i piezometrima u zahvaćenom vodonosnom sustavu.

Provedena je analiza i usporedba podataka koji se registriraju u okviru monitoringa, odnosno ručnim opažanjem razina podzemne vode i trenutnih crpnih količina, te podataka DHMZ-a o količinama oborina na ovom području, pri čemu je korišten računalni program Microsoft Excel. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od siječnja 2016. godine do prosinca 2020. godine.

## 2. Opis istraživanog područja

### 2.1 Geografski položaj istraživanog područja

Istraživano područje pripada istočnom, pretežito nizinskom dijelu Republike Hrvatske. Nalazi se u Osječko-baranjskoj županiji, udaljeno 10 km od grada Osijeka. Područje je smješteno na desnoj obali rijeke Drave, koja je imala glavnu ulogu u oblikovanju recentnog reljefa, te je građeno od mlađih riječnih naplavina i praporastih taložina. Vodocrpilište Vinogradi se nalazi na samom razvođu između Poganovačko- Brodničkog kanala i Crnog Foka. Između najznačajnijih pritoka rijeke Drave na ovom području, rijeke Vuke te Karašice s najvećim pritokom Vučicom, je široko područje spleta kanala koji se dreniraju u Poganovačko-Brodnički kanal. Kanal se proteže od Čepinskih Martinaca do Josipovca gdje se ulijeva u staru Dravu. Vodocrpilište Vinogradi se sastoji od 18 zdenaca. Linija zdenaca slijedi kanal na udaljenosti od 200 do 500 m od samog kanala (Slika 2-1).



Slika 2-1. Položaj eksploatacijskih zdenaca i piezometara na vodocrpilištu Vinogradi (TK25)

## 2.2 Geološke značajke istraživanog područja

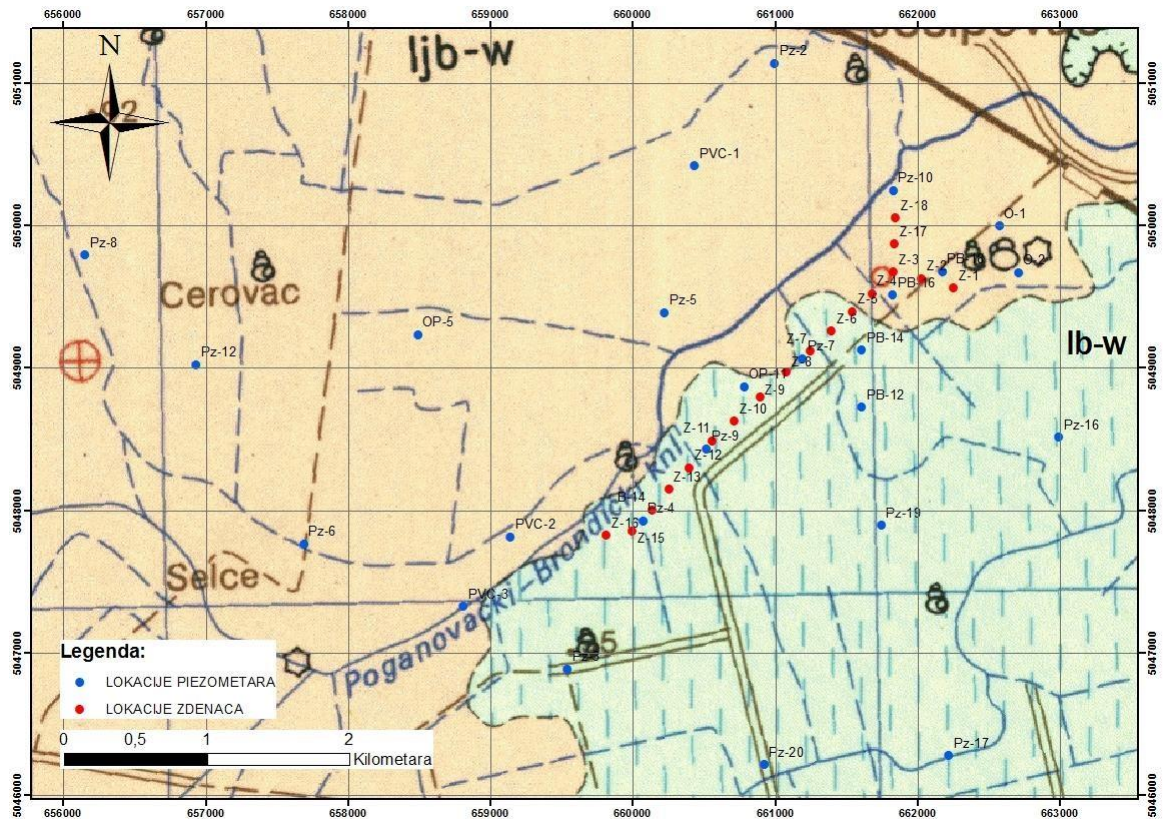
Prema OGK M 1:100000 lista Osijek (Magaš, 1987) i Tumaču (Magaš, 1986) geološka građa područja na kojem je smješteno vodocrpilište Vinogradi je vrlo jednolična. Dubinski dio građe čine starije stijene paleozojske (granit-gnajs i škriljavci) i mezozojske (vapnenci, pješčenjaci i lapori) starosti. Ove naslage nalaze se na površini u slavonskim planinama koje su udaljene oko 50 km od vodocrpilišta Vinogradi (Duić, 2007).

Također, velik dio dubinske građe čine stijene neogenske starosti.

Izdvajaju se naslage srednjeg i gornjeg miocena. Podinu srednjeg miocena izgrađuju kvarcne mikrobreče na koje naliježu sivobijeli do svijetlosmeđi vapnenci, koji sadrže slojeve lapora sa milimetarskim proslojcima sitnozrnatog dobro vezanog pješčenjaka. Gornji miocen izgrađuju pjeskoviti lapori i fino slojeviti, listićavi bijeli vapnenci. Dio kompleksa čine Croatica naslage. To su donjopanonski, tvrdi, čvrsti, „bijeli“ lapori.

Na naslagama miocenske starosti kontinuirano leže naslage donjopliocenske starosti koje čini heterogeni kompleks pješčenjaka, glina, mekanih lapora i pijesaka. Srednji i gornji pliocen na ovim prostorima je predstavljen pješčanim naslagama s proslojcima slabo plastičnih glina.

Na površini užeg istraživanog područja nalaze se isključivo kvartarne naslage koje pripadaju holocenu te najmlađem pleistocenu (Slika 2-2). Prevladavaju prah, pijesak i glina. Prema Urumović i dr. (1976) ove naslage karakterizira izmjena slojeva gruboklastičnih i sitnoklastičnih taložina.



Slika 2-2. Geološka građa površine terena vodocrpilišta Vinogradi prema OGK 1:100000 lista Osijek (Magaš, 1987)

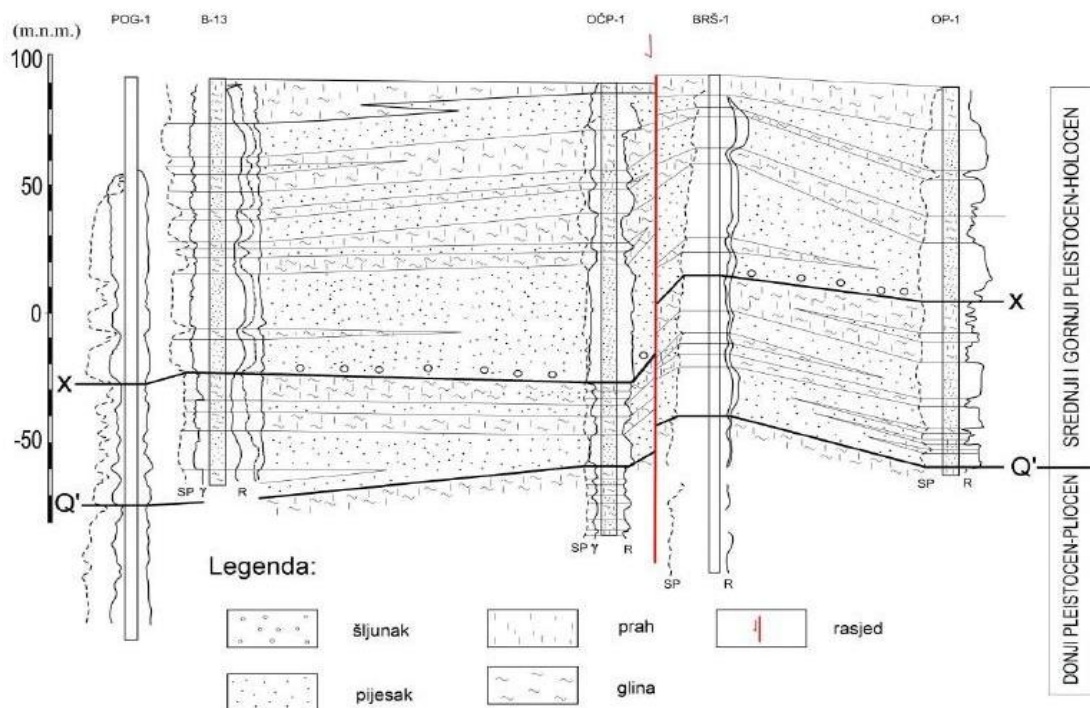
*Tumač oznaka: ljb-w – Jezersko barski les; lb-w – Barski les*

Gruboklastični materijali su pretežito predstavljeni jednoličnim pijescima sitnog do srednjeg zrna veličine od 0,005 do 0,3 mm. U ovim naslagama dominantno se pojavljuju zrnca kvarca s udjelom između 70 i 80% u ukupnom sastavu, te podređeno odlomci karbonatnih stijena, amfiboliti, graniti, feldspati i epidot. U sitnozrnim pijescima je značajan udjel tinjaca. S obzirom na petrološki sastav te geološke i geomorfološke prilike donesen je zaključak da su izvorišne stijene dominantno bili masivi Alpa, a u podređenoj mjeri slavonskih planina. Sitnoklastični materijali predstavljeni su prahom, pjeskovitim prahom te prašinstim do masnim glinama a u njima prevladavaju sive, sivoplave do zelenkaste boje. Česta je pojava konkrecija kao fragmenata, oštrobriđnih do slabo zaobljenih, obično svijetlosive do zelenkaste i bjeličaste, vapnene boje. U mineralnom sastavu pojavljuju se dominantno zrna kvarca, a u podređenoj mjeri tinjčasti minerali i feldspati. U česticama veličine iznad 0,06 mm pojavljuje se sadržaj kalcita, a u sitnijim sadržaj montmorilonita doseže do 10 %.



Građa kvartarnih naslaga je okarakterizirana izmjenom gruboklastičnih i sitnoklastičnih slojeva na dvije razine mjerila. U nekim slojevima, u kojima prevladava sitnozrnati pijesak ili prah, pojavljuje se tanka, gotovo milimetarska, izmjena slojeva praha i pijeska. Deblji slojevi pijeska okarakterizirani su pojedinačnim ciklusima taloženja, pri čemu je proces započeo s taloženjem nešto krupnijih čestica pijeska u kojemu prevladavaju zrna veća od 0.2 mm, dok se u kasnijem taloženju pojavljuje sve manje prosječno zrno.

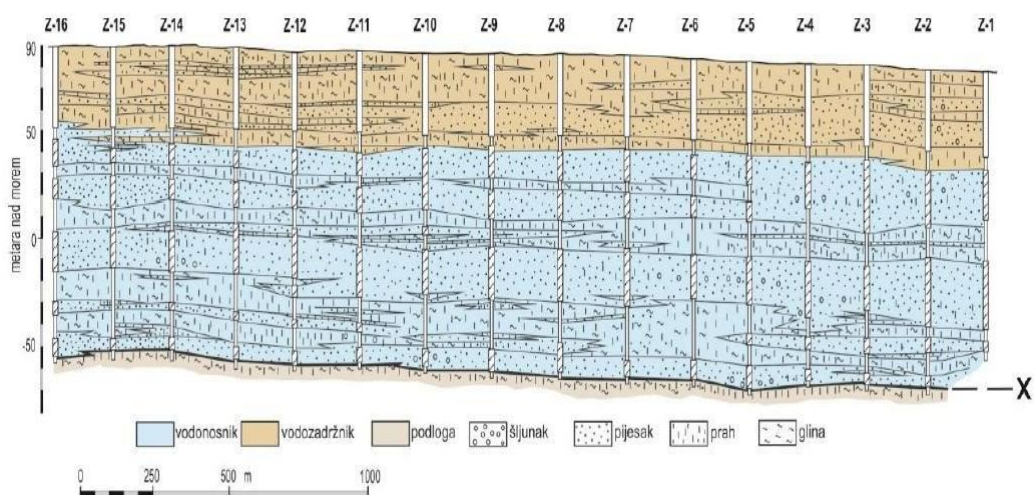
Na Slici 2-3. je prikazan regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja prema Urumović i dr. (1978). Prikazana su dva kontrastna dijela u izmjeni sitnoklastičnih i gruboklastičnih sedimenata. Granica između njih je označena uvjetnim markerom Q'. U donjem dijelu, plioleistocenske i donjopleistocenske starosti, prevladava konsolidiran materijal s niskim udjelom propusnih gruboklastičnih slojeva. Mineralizacija vode u slojevima je povišena. Naslage u gornjem dijelu, srednjopleistocenske i gornjopleistocenske starosti, imaju veći stupanj konsolidacije. Sloj je okarakteriziran visokim udjelom propusnih, gruboklastičnih slojeva i sadržajem slatke vode.



Slika 2-3. Regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja (prema Urumović i dr., 1978)

Regionalni marker Q' moguće je pratiti u svim depresijama Panonskog dijela Hrvatske. Taj horizont se u litološkom smislu pojavljuje s kontrastnim razvitkom kvartarnih naslaga, a ne kao jedinstven sloj. Zaključeno je da bi marker Q' mogao zalijegati i ispod gruboklastičnog razvitka donjopleistocenskih naslaga. Nagli prijelaz u slijedu naslaga iznad markera Q' ukazuje na promjenu paleoklimatskih uvjeta što je za posljedicu imalo regionalne promjene u kvaliteti taloženog materijala. U širem području Osijeka, debljina kvartarnih naslaga iznad markera Q' kreće se od oko 100 m kod Brijesta, do preko 300 m u predjelu Madarinačke depresije.

U naslagama iznad markera Q' prisutan je još jedan kontrast u litološkom razvitku. Na regionalnom korelacijskom profilu označen je markerom X (Slika 2-4). Iznad njega slijede najgrublje taložine u cijeloj regiji istočnog dijela Dravske depresije. Naslage iznad markera X karakterizira pojava sitnih valutica šljunka. Ta pojava ukazuje na snažnu transgresiju širokih razmjera koja je u inundacijskom dijelu Podunavlja, utjecala na taloženje naslaga šljunka debelih do 50 m. U prilog toj pretpostavci ide činjenica da je u sloju pijeska, jugoistočno od grada Osijeka, nabušeni oblutci gnajs-granitnih stijena promjera do 120 mm. Pojava sitnih valutica šljunka registrirana je i na brojnim drugim bušotinama, a i elektrokarotažne korelacije potvrđuje regionalni karakter pojave koja je rezultirala s taloženjem najgrubljih taložina ovih predjela (Urumović, 1982).



**Slika 2-4. Litološki profil kvartarnih naslaga zahvaćenih zdencima vodocrpilišta Vinogradi (prema Urumović i dr., 1978)**

### 3. Hidrogeološke značajke porječja rijeke Drave

Na obnavljane podzemnih voda utječu vertikalni faktori bilance. Površinski tokovi predstavljaju najnižu piezometarsku razinu na istraživanom području i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemne vode u prirodnim uvjetima ukoliko isključimo povremene inverzije u inundacijskom području Drave i Dunava tijekom visokih vodostaja.

Vodonosnik je sastavljen pretežito od slojeva srednje do sitnozrnastog pijeska (geološka građa je vrlo jednolična kronostratigrafski) jer su to sve najmlađe naslage koje pripadaju holocenu i najmlađem pleistocenu, tako i litološki jer su na površini glina, prah i pijesak (u mješavini i izmjeni). Obnova vodonosnika kaptiranog na samom vodocrpilištu Vinogradi je uvjetovana procjeđivanjem iz gornjeg dijela vodonosnog sloja (izvorni sloj, značajke su mu nekonsolidiranost materijala, relativno visoki udjel propusnih gruboklastičnih slojeva je smanjen) kroz polupropusni međusloj (prašinsto-glinoviti proslojci) u donji dio vodonosnog sloja (stupanj konsolidacije je veći, udjel propusnih, gruboklastičnih slojeva).

Vodonosnik je poluzatvorenog do zatvorenog tipa. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku (JZ-SI). Krovinu čini glinovito-prahoviti sloj.

Pokrovne naslage se napajaju infiltracijom padalina, a ona iznosi 14 do 16% visine godišnjih oborina.

Vrijednosti hidrauličkih parametara su određene na osnovu brojnih istraživanja pri kojima su se koristile različite analitičke i numeričke metode. Njihove prosječne vrijednosti su prikazane u Tablici 3-1. (prema Urumović, 2011.)



*Tablica 3-1 Prosječne vrijednosti hidrauličkih parametara prema Urumović,2011.*

Oznaka	Značenje	Vrijednost	Mjerna jedinica
<b>M</b>	<b>debljina vodonosnika</b>	<b>60-80</b>	<b>m</b>
<b>K</b>	<b>hidraulička vodljivost vodonosnika</b>	<b>12-19</b>	<b>m/dan</b>
<b>k'</b>	<b>vertikalna hidraulička vodljivost</b>	<b>(1,5-5)*10<sup>-3</sup></b>	<b>m/dan</b>
<b>S</b>	<b>koeficijent uskladištenja</b>	<b>(0,5-2)*10<sup>-3</sup></b>	<b>/</b>
<b>n</b>	<b>efektivna poroznost pijeska</b>	<b>0,20</b>	<b>/</b>
<b>n'</b>	<b>prosječna efektivna poroznost naslaga u krovini kaptiranog vodonosnika</b>	<b>0,03-0,16</b>	<b>/</b>

#### **4. Izgrađeno stanje vodocrpilišta Vinogradi**

Na vodocrpilištu Vinogradi zahvaćeni su vodonosni slojevi u dubinskom intervalu od 40 do 176 m . Vodonosni slojevi su izgrađeni pretežno od sitno do srednjezrnastog jednoličnog pijeska, a polupropusni međuslojevi izgrađeni su od praha i gline. U pijescima se ponegdje pojavljuju sitne valutice šljunka i to pretežno pri dnu markantnijih slojeva pijeska. Debljina pojedinih propusnih, odnosno polupropusnih slojeva je dosta ujednačena, no ipak mjestimice dolazi do uklinjavanja pojedinih slojeva.

Ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdencima na vodocrpilištu Vinogradi kreće se od 56,8 m do 78,7 m. U krovini zahvaćenog vodonosnika dolazi polupropusni sloj izgrađen od praha i prašinaste gline. Za kvalitetu podzemnih voda karakteristični su reduktivni uvjeti, pa se zbog povišenog željeza, mangana i pratećih elemenata voda pročišćava na prilagođenim uređajima za kondicioniranje.

Eksploatacijski zdenci su izgrađeni u razdoblju od 1980. do 1986. godine. Zdenac Z-1 načinjen je 1980. godine u sklopu druge etape hidrogeoloških istraživanja vodocrpilišta. Zdenci Z-2 do Z-15 izgrađeni su u razdoblju od listopada 1982. do listopada 1983. godine. Time je kompletiran niz od 15 zdenaca koji su 1984. godine

uključeni u pokusni pogon. Tijekom pokusnog pogona pokazala se potreba za povećanjem crpnih količina, pa se nakon prethodnih analiza pristupilo proširenju vodocrpilišta za još tri zdenca. Zdenci Z-16, Z-17 i Z-18 izgrađeni su u razdoblju od 22.rujna do 11.studenog 1986. godine. Na svim je zdencima načinjeno pokusno crpljenje u koracima na temelju čega su određeni parametri zdenaca i lokalne vrijednosti srednje hidrauličke vodljivosti. (Rajić, 2016.)

Crpna količina svih zdenaca standardizirana je na 40 l/s. Ugrađene su crpke optimalnog rada pri takvoj izdašnosti i uz predviđene gubitke u cjevovodu. Korekcija crpljenja moguća je preko automatskog ventila u zahvatnoj građevini. Maksimalna satna izdašnost proširenog vodocrpilišta od 18 zdenaca mogla bi, dakle, dosežati 720 l/s. U provedenim istraživanjima definirano je da srednja mjesečna izdašnost vodocrpilišta ne bi prelazila 600 l/s, dok bi dnevna kolebanja izdašnosti ovisila o tekućoj potrošnji, te radu uređaja za kondicioniranje i distribuciju vode.

Vodocrpilište Vinogradi uključeno je u pogon 25. srpnja 1984. godine u 14 sati i 48 minuta. Time je započeto korištenje podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe Osijeka, napušteno je korištenje ranijega zahvata dravske vode na lokaciji Pampas, pogon kojega je konzerviran. Do srpnja 1988. korišteno je samo prvih 15 zdenaca, a od srpnja 1988. uključeni su i zdenci Z-16, Z-17 i Z-18, pa su od tada svi zdenci u pogonu, a rade prema uvjetima ukupnog vodoopskrbnog sustava. Puštanjem u pogon vodocrpilišta Vinogradi ponudilo se iskustvo o intenzivnom eksploatiranju podzemnih voda u zahvaćenim vodonosnicima, kakvo ranije nije postojalo. Zbog toga, kao i zbog potrebe tekućeg upravljanja vodocrpilištem i prikupljanju podataka za istraživanje proširenja izvorišta, predviđeno je stalno hidrogeološko praćenje rada vodocrpilišta Vinogradi.

Tijekom rada zdenaca vodocrpilišta Vinogradi uočena su dva osnovna problema. Jedan se odnosio na pojavu pjeskarenja zdenaca, a drugi na povećanje gubitaka. Pojava pjeskarenja bila je posljedica oštećenja pune cijevi. Pokazalo se, naime, da je pri radu zdenaca došlo do otpuštanja spojeva na prirubnicama na tlačnim cijevima ugrađenih crpki, pa je tanki mlaz vode uzrokovao ne samo rezanje punih cijevi zdenca u kojima se one nalaze, nego je presjekao i vijke na prirubnicama. Zdenci su bili sanirani ugradnjom dodatnog plastičnog zacjevljenja unutar eksploatacijskih cijevi do dubine 40 m.

Od 1995. godine započelo se s izradom zamjenskih zdenaca. Konstrukcija novih zdenaca je promijenjena na temelju iskustava pri korištenju prvih zdenaca. Ugrađene su pune cijevi i sita promjera 400 mm od površine terena do dna zdenca.

#### **4.1. Praćenje rada vodocrpilišta**

Na vodocrpilištu Vinogradi organizirano se provode mjerenja crpnih količina i razina podzemnih voda, te snimanje kakvoće podzemnih voda.

U sklopu mreže opažanja podzemnih voda na vodocrpilištu Vinogradi inicijalno je organizirano opažanje na svim zdencima (18 zdenaca) i piezometarskim bušotinama izvedenim tijekom istraživanja vodocrpilišta i za potrebe monitoringa autoceste (Koridor VC) i južne obilaznice Osijeka: opažanja se provode na 65 piezometarskih bušotina, na 24 lokacije. Naime, na većini lokacija postoji veći broj piezometara s različitim zacjevljenjem (piezometarska gnijezda). Tako primjerice na lokaciji Pz-7 postoji 5 piezometara od kojih Pz-7A zacjevljuje najplići sloj, sloj koji nije zahvaćen eksploatacijskim zdencima, a koji se napaja infiltracijom padalina i preko kojega se odvija napajanje niže položenog zahvaćenog vodonosnika. Piezometarska cijev s oznakom Pz-7/1 zahvaća sve ili većinu slojeva u vodonosniku koji su zahvaćeni eksploatacijskim zdencima, a od tih slojeva pojedini su posebice zacijepljeni, tako da Pz-7/1 zahvaća prvi, Pz-7/2 zahvaća drugi, a Pz-7/3 zahvaća treći od slojeva u vodonosniku.

U sve eksploatacijske zdence i tri opažачka piezometra ugrađeni su automatski mjerači razine podzemne vode. Mjerač se sastoji od mjerne sonde koja je spuštена u zdenac i elektronskog uređaja.

U okviru NUS-a se svakodnevno bilježe trenutci uključivanja i isključivanja zdenaca, crpne količine, ukupno iscrpljene vode te razina podzemne vode automatskim mjeračima.

## 5. Analiza podataka obuhvaćenih monitoringom vodocrpilišta Vinogradi

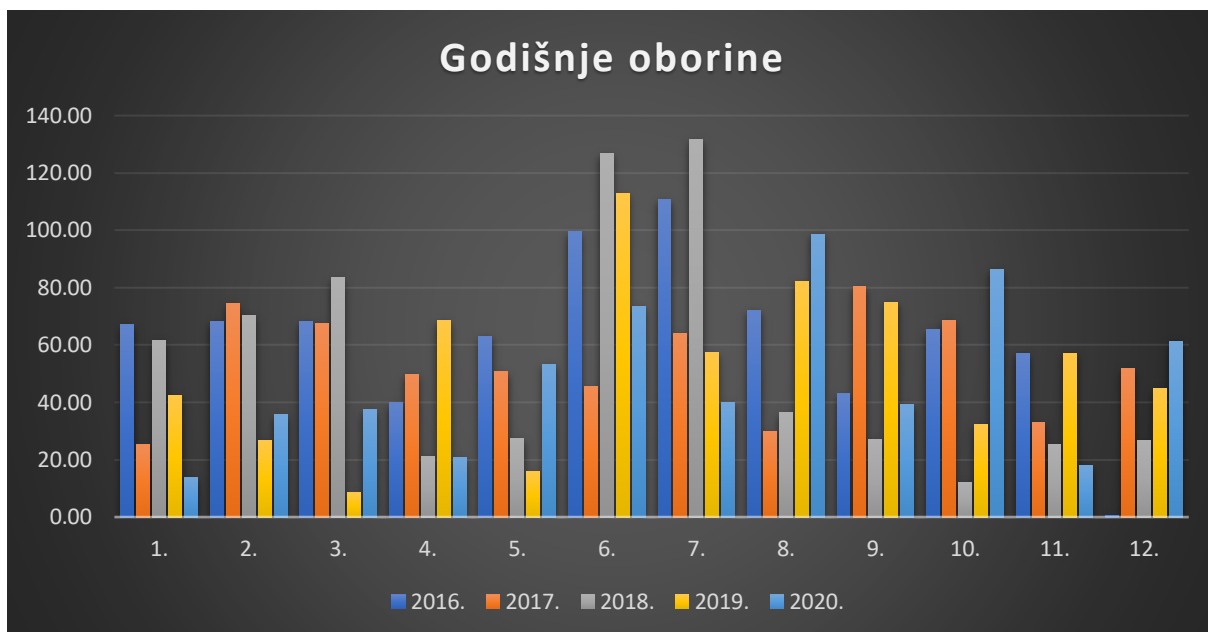
### 5.1. Oborine

Prema dostupnim klimatološkim podacima umjereno kontinentalne klimatske prilike su u širem području dosta homogene. Naročito su pri tome zanimljivi podaci o količinama padalina na području Osijeka izraženi u mm. Prosječna godišnja količina padalina na području Osijeka prema podacima DHMZ-a u razdoblju od 2016. do 2020. godine (tablica 5.1) iznosi 650 mm, što je blisko prosječnim vrijednostima za razdoblje 1961.-1990. za koje iznosi 681 mm.

Zabilježeni su i ekstremi kako u smislu minimalne godišnje oborine u 2020. godini koja je iznosila 578 mm u odnosu na maksimalne količine oborine 2016. godine u iznosu od 754,8 mm.

*Tablica 5.1. Mjesečne oborine na meteorološkoj postaji u Osijek za razdoblje 2016.-2020. godine (podaci DHMZ-a)*

GOD	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	Σ
2016	67,0	68,3	68,2	39,8	63,1	99,5	110,8	72,1	43,0	65,4	57,1	0,5	754,8
2017	25,2	74,4	67,6	49,7	50,6	45,4	64,0	30,0	80,3	68,7	33,0	51,7	640,6
2018	61,7	70,2	83,4	21,0	27,4	126,8	131,6	36,3	27,1	12,2	25,2	26,7	649,6
2019	42,4	26,8	8,4	68,6	15,8	112,8	57,4	82,2	75,0	32,3	57,1	44,9	624,7
2020	13,8	35,6	37,4	20,7	53,3	73,5	40,0	98,7	39,1	86,5	18,0	61,4	578

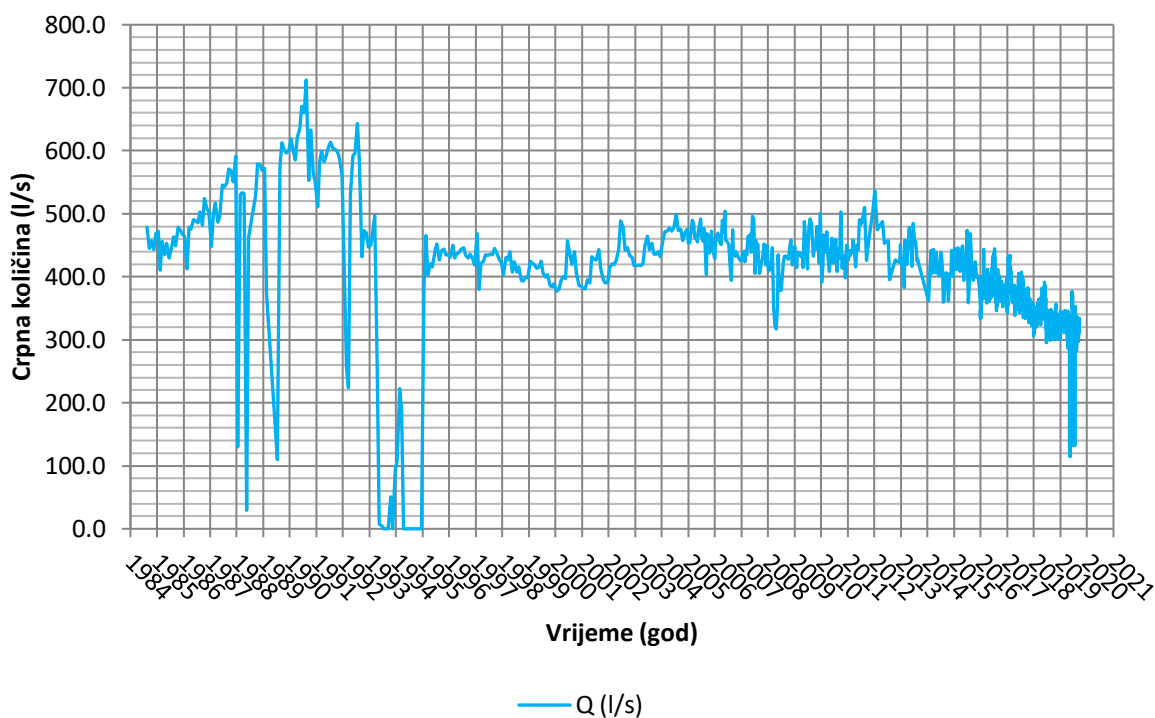


**Slika 5-1. Prikaz mjesečnih oborina na području Osijeka za razdoblje 2016.- 2020.**

U oborinskom režimu ovog područja ističe se jedan maksimum. Direktno je povezan s utjecajem kontinentalnog pluvijometrijskoga režima i javlja se koncem ljeta. Za mjesečne oborine općenito su karakteristična velika odstupanja od prosječnih vrijednosti (prikazano gore u Tablici 5-1).

## 5.2. Crpne količine

Crpne količine registriraju se na pojedinim zdencima i sumarno za cjelokupno vodocrpilište. Sumarne količine mjere se mjerачem protoka na ulazu u pogon za preradbu vode. Crpne količine pojedinih zdenaca procjenjivane su mjerачima protoka, a u početnom razdoblju i preko registracije vremena rada crpki u pojedinim zdencima, tj. množeći vrijeme rada s izdašnosti crpke. Naime u početnom razdoblju je standardna izdašnost crpke u svim zdencima iznosila 40 l/s, a korekcija crpne količine načelno je moguća korekcijom izmjerene tlačne visine na prigušnom ventilu u zdenačkoj građevini. Registrira se veliki broj podataka, kako za dnevno, tako za mjesečno ili godišnje razdoblje.

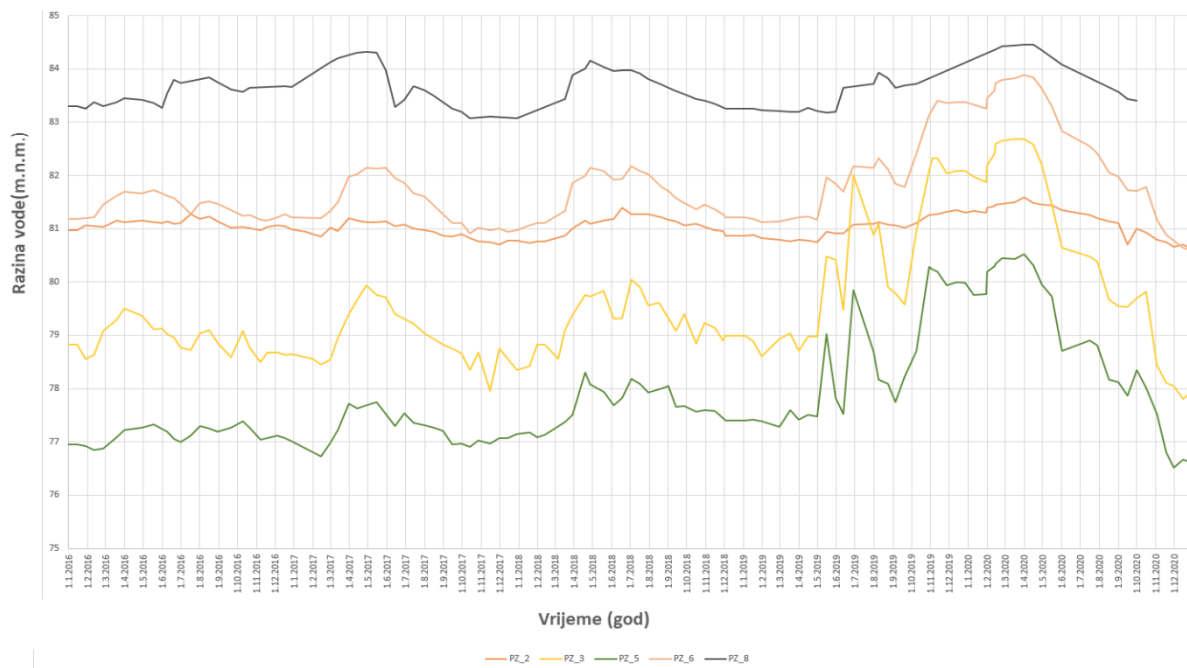


**Slika 5-2. Prikaz ukupnih crpnih količina prema opažanjima u okviru monitoringa**

U ovom poglavlju analiziran je utjecaj oborina i crpljenja na kolebanje razina podzemne vode s obzirom na udaljenost opažaćkih objekata od linije eksploatacijskih zdenaca.

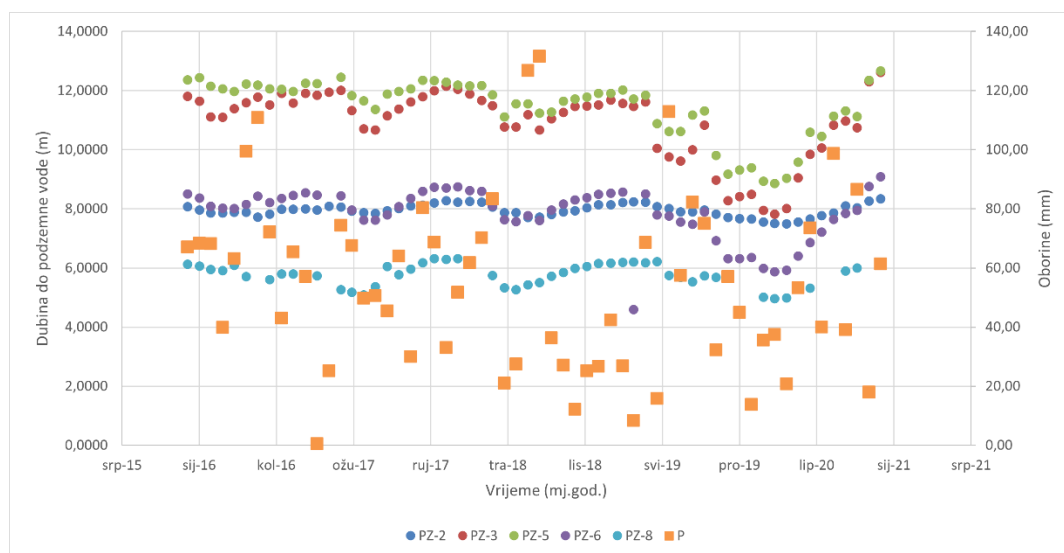
Rezultati su prikazani kao nivogrami karakterističnih aktivnih piezometara, odnosno piezometarskih gnijezda koji pokazuju razvitak sniženja u vodonosnoj sredini bez utjecaja sniženja razina uzrokovanih padom specifične izdašnosti zdenaca.

Slika 5-3. prikazuje nivograme aktivnih piezometara PZ-2, PZ-3, PZ-5, PZ-6 i PZ-8. PZ-8 je najudaljeniji aktivni piezometar koji se opaža. Nalazi se na udaljenosti oko 5km od središta linije zdenaca. Piezometri PZ-2, PZ-3, PZ-5 i PZ-6 nalaze se na udaljenostima od oko 1 do 2 km od zone zdenaca. U razdoblju od 2016. do 2020. godine nivogram prikazuje sezonska kolebanja razina podzemne vode kako u izvornom sloju, tako i u slojevima zahvaćenim zdencima na vodocrpilištu. Osim sezonskih kolebanja načelno se uočava porast razina podzemne vode u 2020. godini u odnosu na prethodne godine (kod svih piezometara osim kod PZ-6).



**Slika 5-3. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) udaljenijih piezometara**

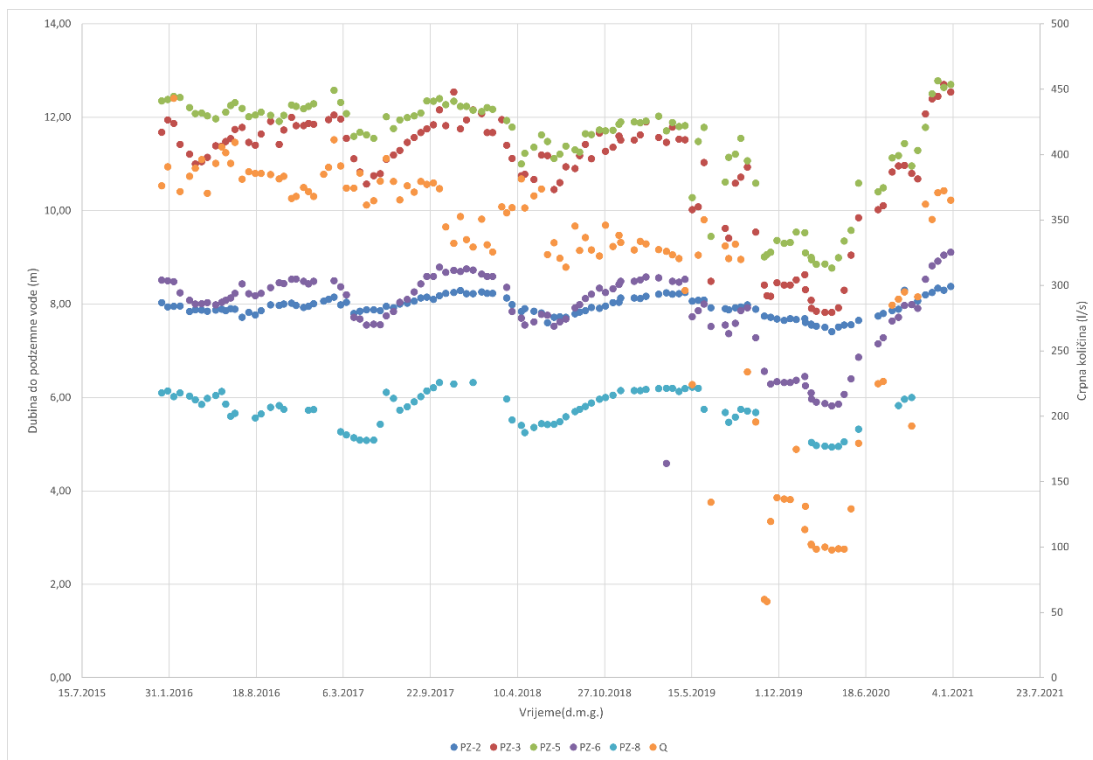
Utjecaj oborina na razine podzemne vode je u proporcionalnoj vezi. Količine oborina se smanjuju idući od 2016. do 2020. godine i najmanje iznose dosežu u zadnjoj godini promatranja (2020.) ujedno i u godini sa najmanjim crpnim količinama. Na slici 5-4. vidljivo je sredinom svake godine lagani porast u razina podzemne vode što je direktan utjecaj povećanju oborina u tom razdoblju godine. Korelacijskom analizom utvrđeno je da oborine ne utječu dominantno na razine podzemne vode poput crpljenja.



**Slika 5-4. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode**

Razine podzemne vode se kreću između 77 i 85 m.n.m. Razlog tomu je što crpne količine u navedenom razdoblju (gdje je vidljiv lagani skok- sredina 2020. godine) padaju

na najniže vrijednosti. Crpne količine i razine podzemne vode su u obrnuto proporcionalnoj vezi, tj. u proporcionalnom odnosu na dubine do podzemne vode (Slika 5-5.)

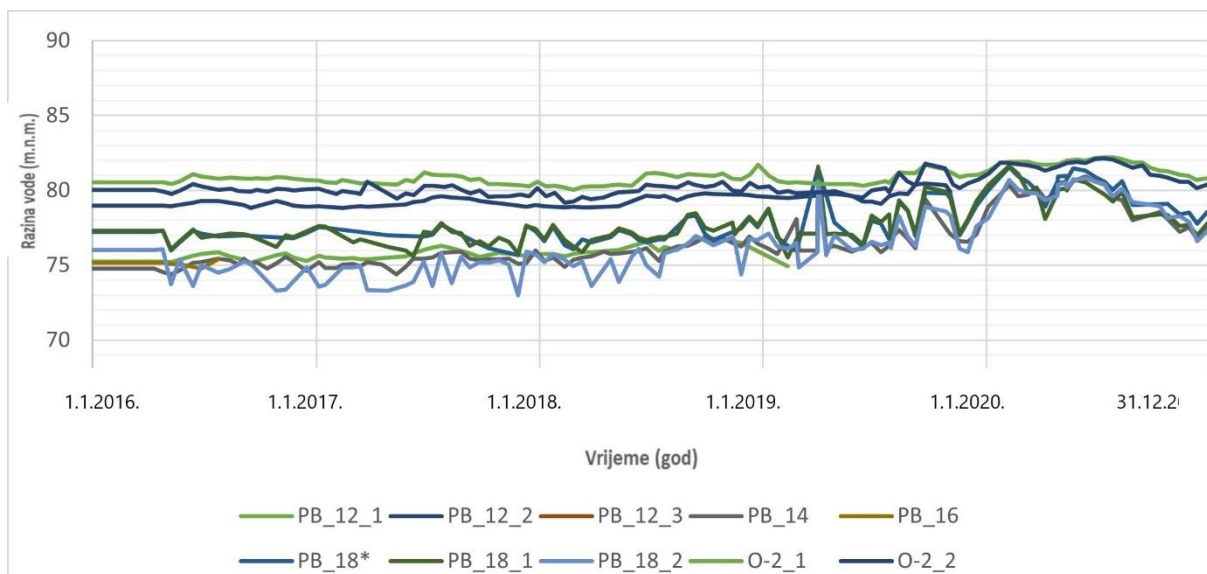


Slika 5-5. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

To je ujedno dokazano i **metodom korelacije** (metoda koja pomaže u identifikaciji postojanja i jačine veze oborine/crpljenja i razine podzemne vode). Kod najudaljenijeg piezometra PZ-8 veza je najslabija i koeficijent korelacije iznosi  $k=0,42$ , dok se kod ostalih bližih piezometara opaža veliki utjecaj crpljenja i koeficijenti iznose između **0,61 i 0,90** (za PZ-3  $k=0,89$ , za PZ-5  $k=0,61$  i za PZ-6  $k=0,78$ ) (Tablica 5.2 i Tablica 5.3).

Slika 5-6. prikazuje nivograme aktivnih piezometarskih gnijezda PB-12, PB-18 i O-2 te usamljenih piezometara PB-14 i PB-16. Ti piezometri su smješteni u neposrednoj blizini eksploatacijskih zdenaca, na udaljenosti od oko 100 do 500 m. Sezonska kolebanja su jače vidljiva nego u udaljenijim zdencima.



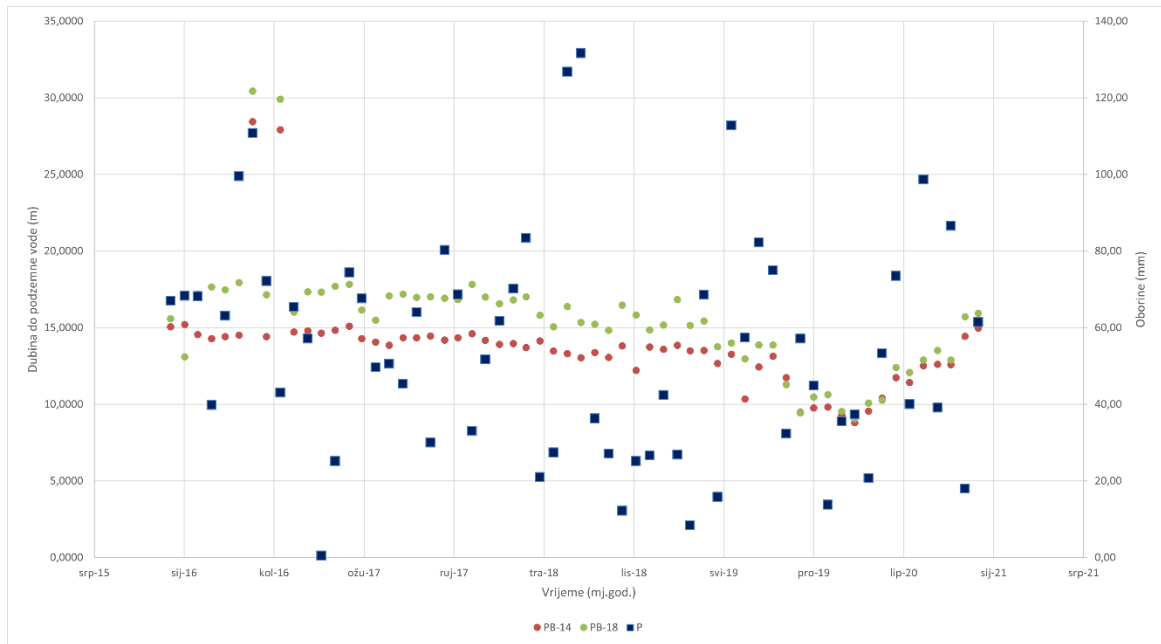


**Slika 5-6. Nivogrami piezometara udaljenih 100-500 m od zdenaca**

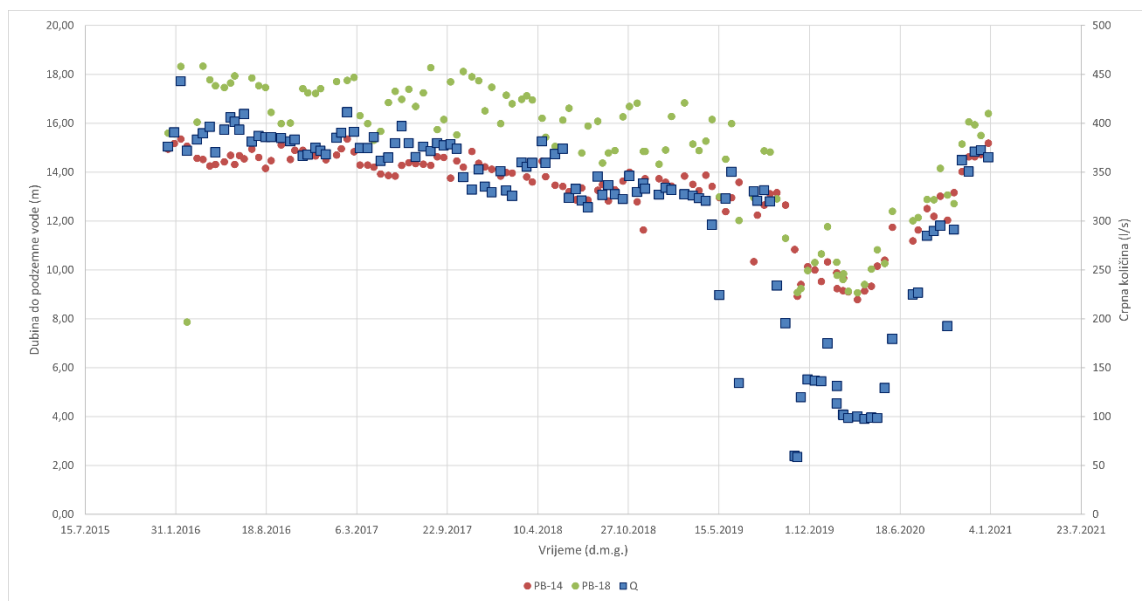
Nivogram piezometara u neposrednom okruženju prikazuje vrlo sličan odraz, nastao zbog kombinacije utjecaja crpljenja i infiltracije oborina kao mehanizma obnavljanja vodonosnika. Njihovi intenziteti tih odraza su različiti za pojedine piezometre ovisno o njihovoj dubini po profilu vodonosnika. Utjecaj oborina na razine podzemne vode je u proporcionalnoj vezi. Količine oborina se smanjuju idući od 2016. do 2020. godine. Tijekom godine vidljiva su kolebanja razina podzemne vode na što utječu kolebanja količine oborina tijekom sezone. Razine podzemne vode se kreću između 73 i 82 m.n.m.

Također je vidljiv lagani porast vrijednosti razina podzemne vode sredinom 2020. godine s obzirom da je u tom navedenom razdoblju crpna količina pala na najniže vrijednosti iako je količina oborine u toj godini bila najniža. (Slika 5-7. i Slika 5-8.)

Vrijednosti koeficijenta korelacije za ove piezometre je dovoljno velik da ukaže na međusobnu vezu između razina podzemne vode i količinu crpljenja. Za piezometar PB-12 i PB-16 nema dovoljno podataka, no za PB-14 koeficijent iznosi  $k=0,91$  i za PB-18  $k=0,88$  (Tablica 5.2 i Tablica 5.3).

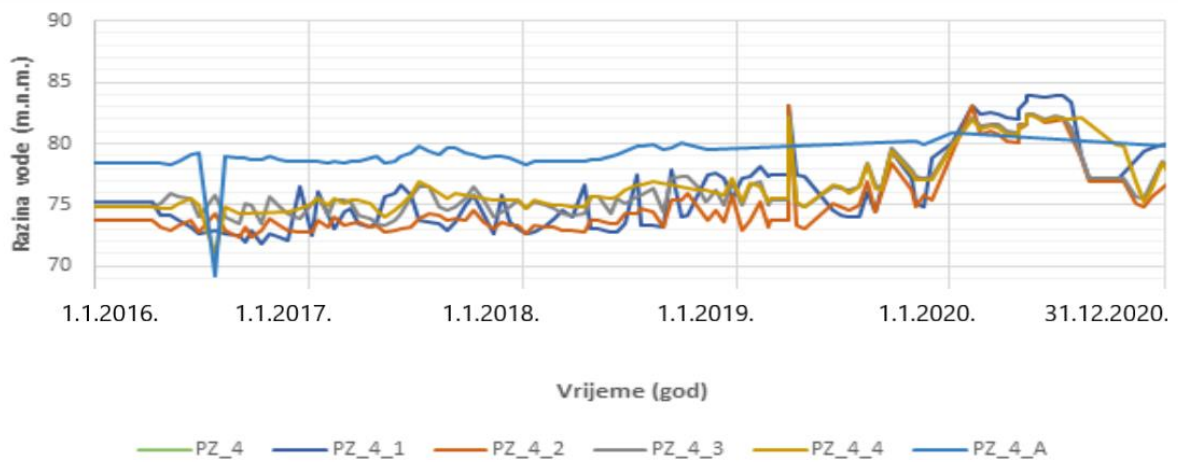


**Slika 5-7. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode**



**Slika 5-8. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode**

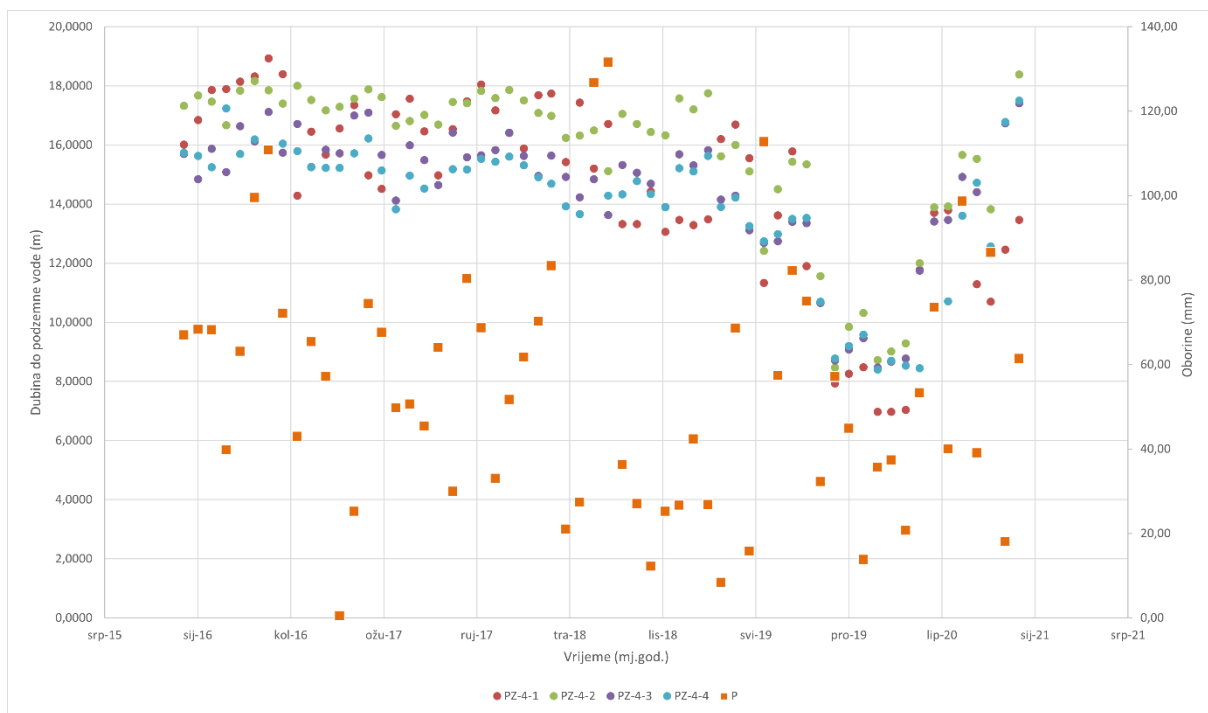
Slika 5-9. prikazuje nivogram piezometarskog gnijezda PZ-4. Piezometarsko gnijezdo je smješteno između eksploatacijskih zdenaca B-14 i Z-15. Razina podzemne vode u izvornom sloju, kojeg zahvaća piezometar PZ-4A, pokazuje kolebanje u skladu sa zabilježenim količinama oborina (Tablica 5-1.).



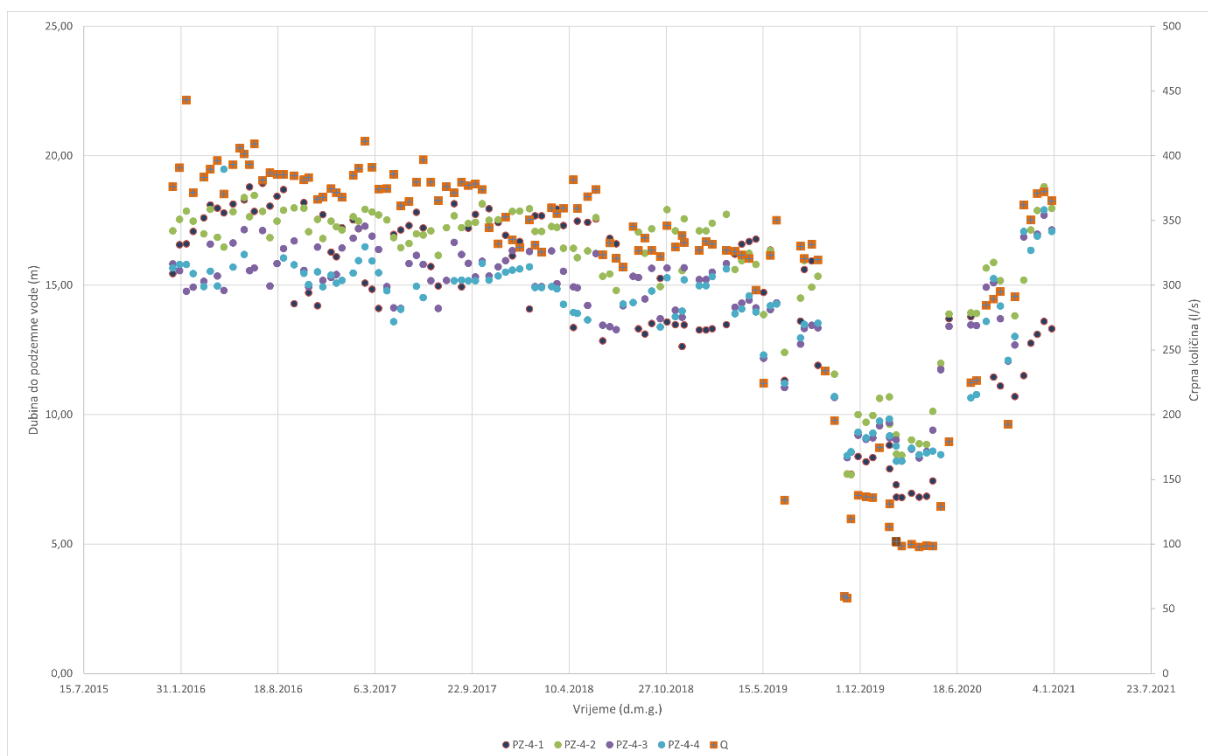
**Slika 5-9. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) piezometarskog gnijezda PZ-4**

U ostalim piezometrima (PZ-4, PZ-4-1, PZ-4-2, PZ-4-3 i PZ-4-4) koji zahvaćaju različite slojeve vodonosnika zahvaćene crpljenjem, zapažaju se kolebanja razina podzemne vode ovisno i o crpnim količinama. Tijekom godine vidljiva su kolebanja razine podzemne vode na što utječu i kolebanja u količinama oborina tijekom sezone (sredinom godine su najviše kada i razine podzemne vode imaju najveće vrijednosti). Razine podzemne vode se kreću između 72 i 84 m.n.m. Također je vidljiv porast razine podzemne vode sredinom 2020. godine što je direktno povezano sa crpnim količinama koje padaju na najniže razine u promatranom razdoblju što je dokazano i koeficijentom korelacije.

Koeficijent korelacije određen na ovim piezometrima ima visoke vrijednosti (jaka veza crpljenja i razina podzemne vode). Koeficijent korelacije iznosi za piezometar PZ-4\_1  $k=0,78$ , za PZ-4\_2  $k=0,83$ , za PZ-4\_3  $k=0,92$  i za PZ-4\_4  $k=0,72$  (Tablica 5.2 i Tablica 5.3).



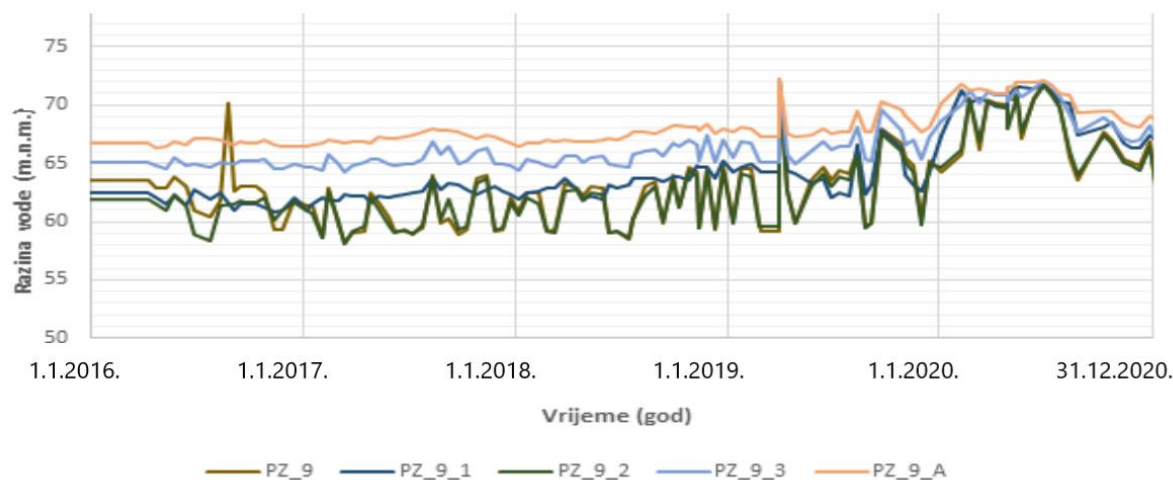
**Slika 5-10. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode**



**Slika 5-11. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode**

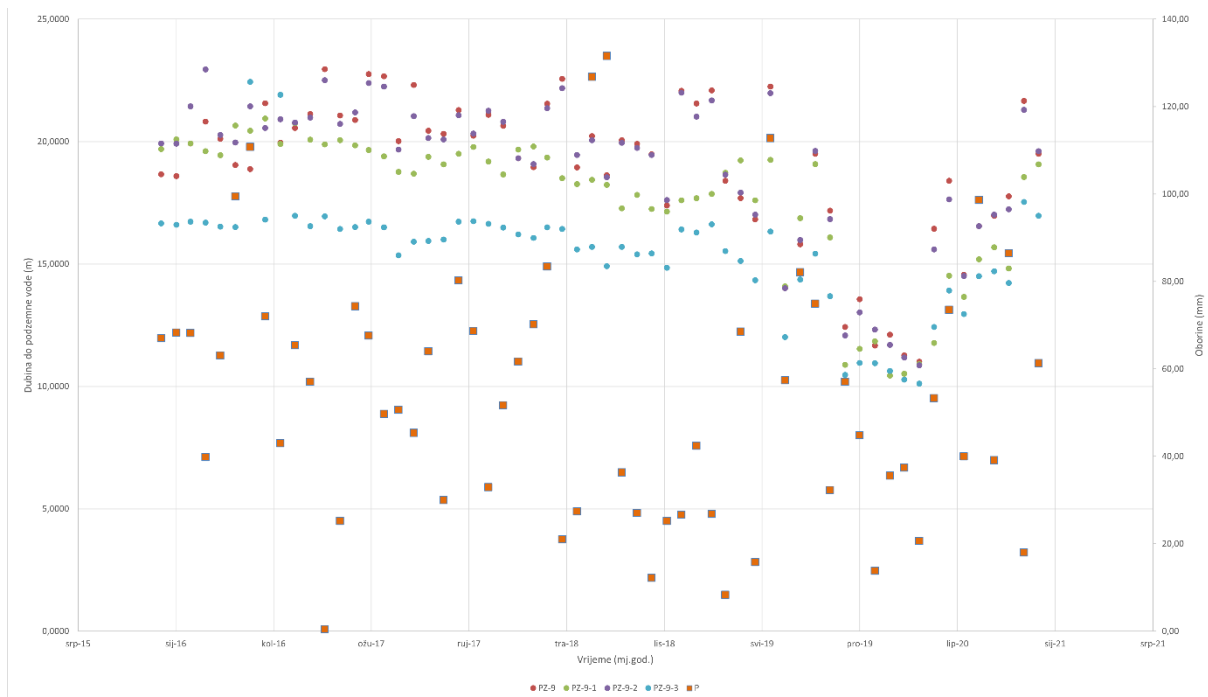
Slika 5-12. prikazuje kolebanja razina podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-9. Piezometarsko gnijezdo je smješteno pokraj eksploatacijskog zdenca Z-11. Piezometrom PZ-9-A je zahvaćen izvorni sloj, te razina podzemne vode pokazuje kolebanje u skladu sa zabilježenim količinama oborina na ovom području (Tablica 5-1.). Ostali

piezometri (PZ-9, PZ-9-1, PZ-9-2 i PZ-9-3) zahvaćaju različite slojeve vodonosnika (različite dubine).



**Slika 5-12. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) piezometarskog gnijezda PZ-9**

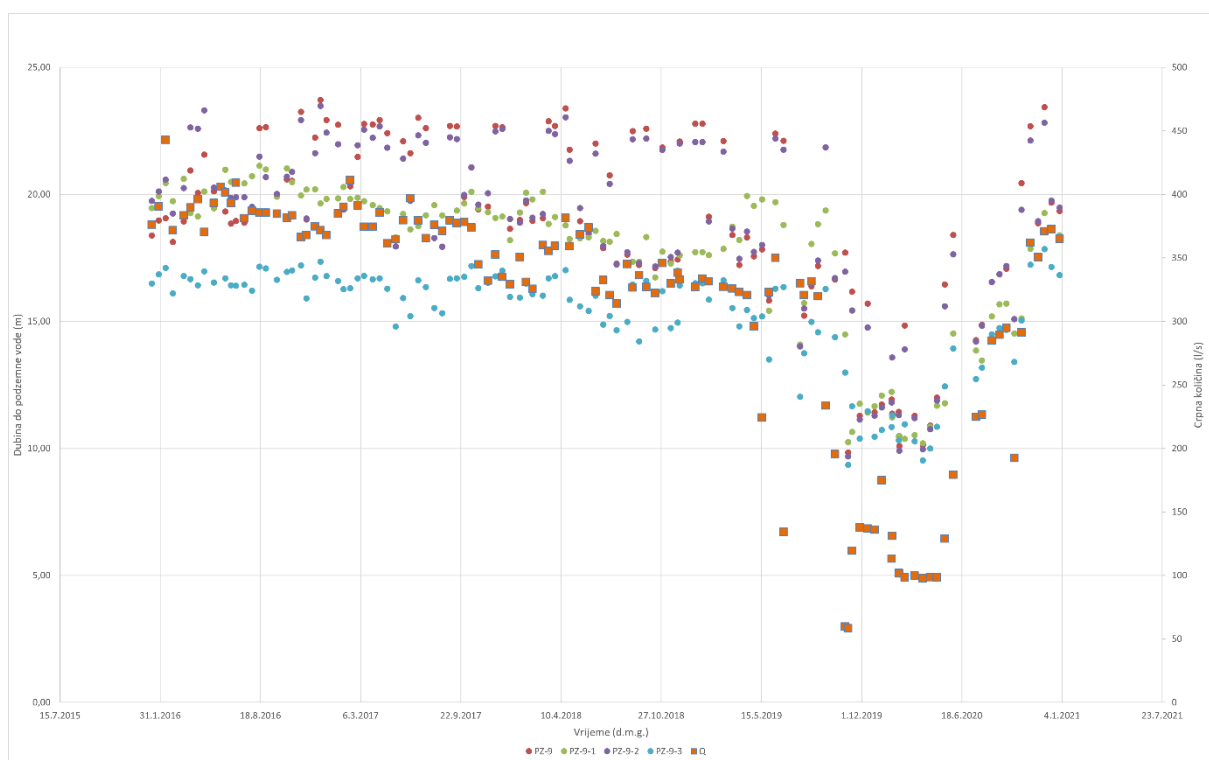
Budući da se radi o slojevima zahvaćenim eksploatacijom, kolebanja razine podzemne vode ovise i o eksploatacijskim crpnim količinama. Razine podzemne vode kreću se između 58 i 71 m.n.m. Ujedno je i vidljivo kako razine podzemne vode rastu sredinom svakom godine te se polako spuštaju do kraja godine s obzirom na sezonsko kolebanje u količinama oborina.



**Slika 5-13. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode**

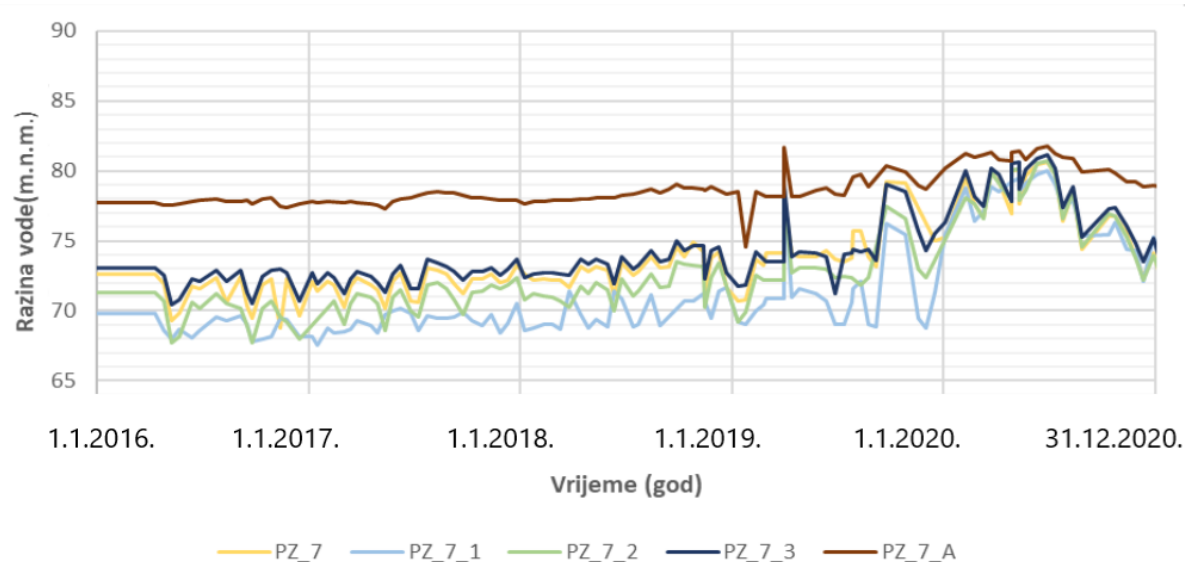
Tijekom sredine 2020. godine vidljiv je porast razina podzemne vode što je povezano sa vrlo niskim vrijednostima crpnih količina u tom razdoblju (Slika 5-14.), ujedno vidljivo i preko koeficijenta korelacije.

Koeficijent korelacije određen na ovim piezometrima ima visoke vrijednosti (jaka veza crpljenja i razina podzemne vode). Koeficijent korelacije iznosi za piezometar PZ-9  $k=0,71$ , za PZ-9\_1  $k=0,89$ , za PZ-9\_2  $k=0,80$  i za PZ-9\_3  $k=0,88$  (Tablica 5.2 i Tablica 5.3).



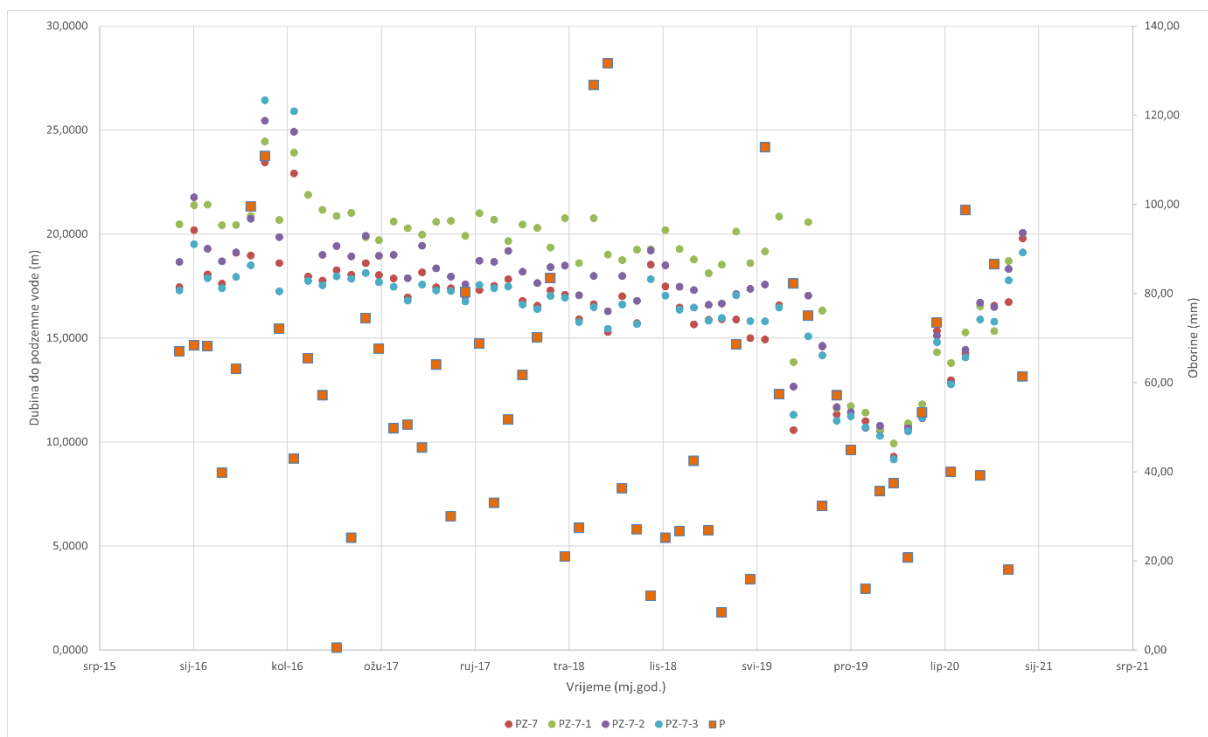
**Slika 5-14. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode**

Slika 5-15. prikazuje kolebanja razine podzemne vode u piezometarskom gnijezdu PZ-7, smještenom oko 20 m južno od zdenca Z-7. U izvornom sloju zahvaćenom piezometrom PZ-7-A kolebanja podzemne vode ovise o količini oborina koje se infiltriraju, dok u dubljim slojevima zahvaćenim piezometrima PZ-7, PZ-7-1, PZ-7-2 i PZ-7-3, na razinu podzemne vode utječu i eksploatacijske crpne količine (Slika 5-16. i Slika 5-17.). Razine podzemne vode se kreću između 68 i 82 m.n.m.

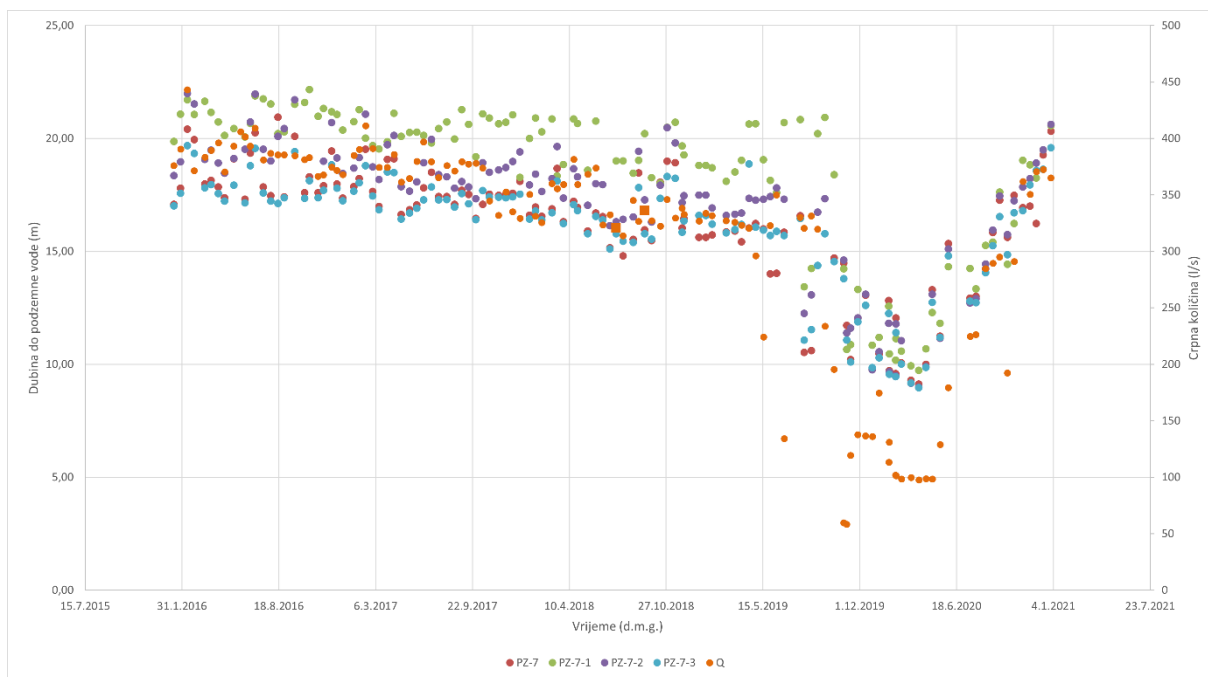


**Slika 5-15. Nivogrami (kolebanje razina podzemne vode) piezometarskog gnijezda PZ-7**

Visoke vrijednosti koeficijenta korelacije označuje visoku povezanost crpljenja i razina podzemne vode. Na ovim piezometrima vrijednosti su sljedeće: za piezometar PZ-7  $k=0,82$ , za PZ-7\_1  $k=0,61$ , za PZ-7\_2  $k=0,87$  i PZ-7\_3  $k=0,86$  (Tablica 5.2 i Tablica 5.3).



**Slika 5-16. Utjecaj oborine na dubine do podzemne vode**



Slika 5-17. Utjecaj crpljenja na dubine do podzemne vode

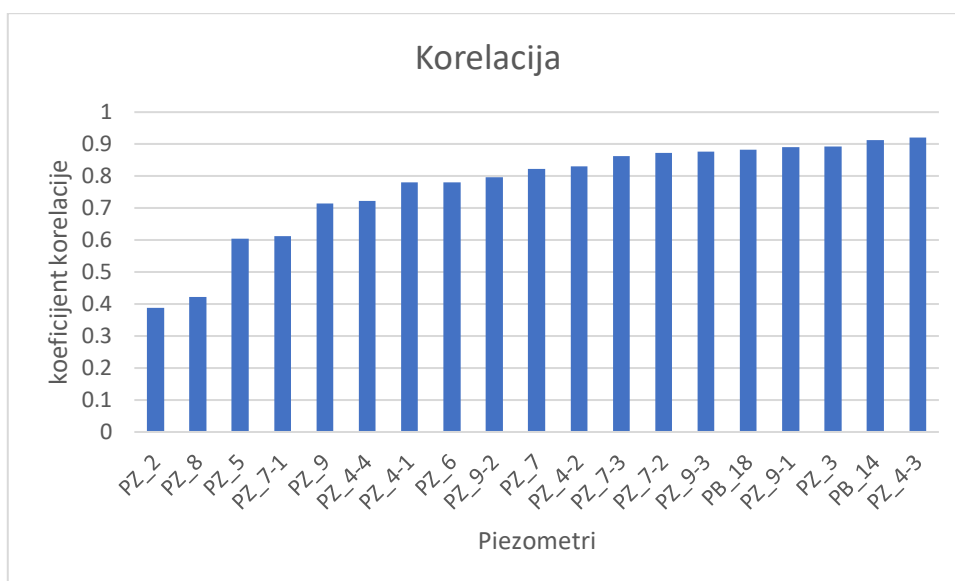
Tablica 5.2. Prikaz vrijednosti koeficijenta korelacije na zadanim piezometrima (oborine/RPV)

<b>Piezometar</b>	<b>PZ-2</b>	<b>PZ-3</b>	<b>PZ-5</b>	<b>PZ-6</b>	<b>PZ-8</b>
koeficijent	-0,09549	0,114349	0,169173	0,208767	-0,10691
<b>Piezometar</b>	<b>PZ-4-1</b>	<b>PZ-4-2</b>	<b>PZ-4-3</b>	<b>PZ-4-4</b>	
koeficijent	0,268402	0,133521	0,145991	0,15057	
<b>Piezometar</b>	<b>PZ-9</b>	<b>PZ-9-1</b>	<b>PZ-9-2</b>	<b>PZ-9-3</b>	
koeficijent	0,103447	0,236657	0,137446	0,213167	
<b>Piezometar</b>	<b>PZ-7-</b>	<b>PZ-7-1</b>	<b>PZ-7-2</b>	<b>PZ-7-3</b>	
koeficijent	0,170094	0,192456	0,194178	0,179606	
<b>Piezometar</b>	<b>PB-14</b>	<b>PB-18</b>			
koeficijent	0,200899	0,188283			

Tablica 5.3. Prikaz vrijednosti koeficijenta korelacije na zadanim piezometrima (crpljenje/RPV)

<b>piezom.</b>	<b>PZ-2</b>	<b>PZ-3</b>	<b>PZ-5</b>	<b>PZ-6</b>	<b>PZ-8</b>
koeficijent	0,388051	0,892172	0,605209	0,780543	0,422639
<b>piezom.</b>	<b>PZ-4-1</b>	<b>PZ-4-2</b>	<b>PZ-4-3</b>	<b>PZ-4-4</b>	
koeficijent	0,780212	0,831039	0,920779	0,721496	
<b>piezom.</b>	<b>PZ-9</b>	<b>PZ-9-1</b>	<b>PZ-9-2</b>	<b>PZ-9-3</b>	
koeficijent	0,713572	0,891565	0,796038	0,87604	
<b>piezom.</b>	<b>PZ-7</b>	<b>PZ-7-1</b>	<b>PZ-7-2</b>	<b>PZ-7-3</b>	
koeficijent	0,821619	0,613099	0,872994	0,862548	
<b>piezom.</b>	<b>PB-12</b>	<b>PB-14</b>	<b>PB-16</b>	<b>PB-18</b>	
koeficijent	/	0,911804	/	0,881751	





**Slika 5-18. Prikaz koeficijenta korelacije piezometara (crpljenje/RPV)**

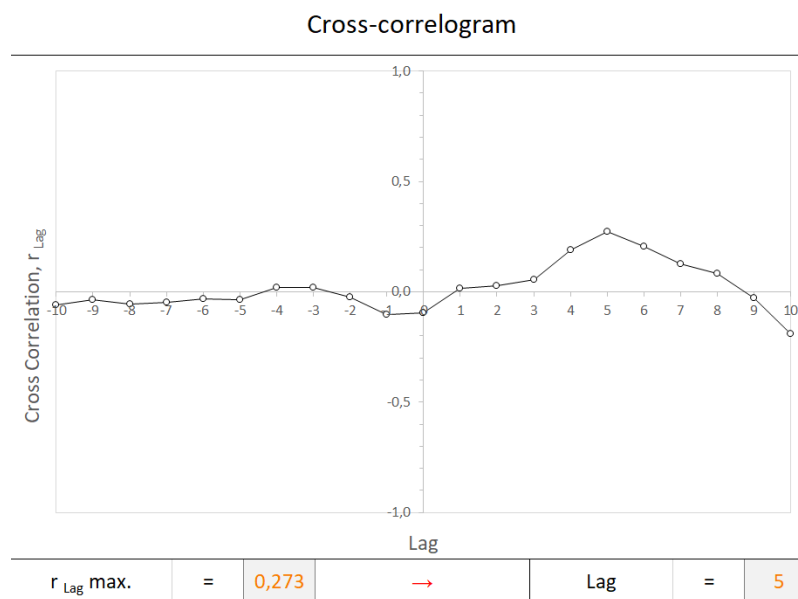
U provedenoj analizi korišteni su podaci koji se registriraju u okviru monitoringa, odnosno ručnim opažanjima razina i trenutnih crpnih količina. Ti podaci daju vrlo pouzdanu ocjenu rada vodocrpilišta Vinogradi. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od siječnja 2016. do prosinca 2020. godine. Podaci o crpnim količinama prikazuju relativni postepeni pad crpnih količina. Crpne količine u 2016. godini su oko 430 l/s i padaju na oko 300 l/s i manje u 2020. godini. Najniže vrijednosti crpnih količina su u zadnje 2 promatrane godine i to je direktno povezano sa razinama podzemnih voda. Crpne su se količine spustile i do 150 l/s u razdoblju kada su nam razine podzemne vode na svakom nivogramu bile u porastu u tom istom razdoblju.

Na kolebanje crpnih količina utječe stanje razina podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu. Na temelju ranijih analiza podzemnih voda u opažajkim objektima vodocrpilišta Vinogradi, donesen je zaključak da na razinu podzemnih voda, osim oborina i crpnih količina te udaljenosti od eksploatacijskih zdenaca, utječe i pojava starenja zdenaca, odnosno zatvaranja zdenačkih sita po cijelom profilu zacjevljenja.

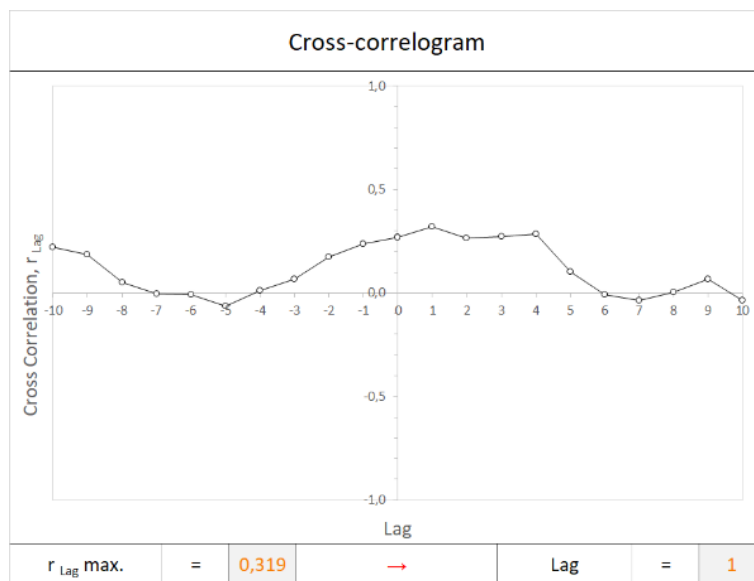
### 5.3. Kros-korelacijska metoda

Kros-korelacija definira mjeru sličnosti dviju varijabli odnosno dvaju niza podataka tj. stupanj do kojeg se dva niza koreliraju s obzirom na zaostajanje jedne varijable u odnosu na drugu. Proces njihove usporedbe za svako uzastopno zaostajanje naziva se kros-korelacija (Davis, 2002.). Kros-korelaciju je najprimjereneje koristiti za usporedbu dva niza koji imaju vremensku ovisnost. Jačina veze između dva vremenska niza definira se koeficijentom korelacije,  $r$ , koji pak se računa za svako uzastopno zaostajanje, a pri tom najveći određeni koeficijent korelacije određuje vremensko zaostajanje između dva vremenska niza. U kros-korelacijskoj analizi, mjerenja vremenskih nizova trebaju međusobno vremenski odgovarati, odnosno, mjerenja trebaju biti obavljena u isto vrijeme, npr. na isti dan ako je učestalost mjerenja npr. 1 dan ili pak u isti sat ako je učestalost mjerenja npr. 1 sat. Nulto zaostajanje predstavlja poravnanje dva vremenska niza na isto, početno vrijeme mjerenja, a usporedba se radi kako za nulto zaostajanje tako i za svako sljedeće uzastopno zaostajanje, uključujući i pozitivne i negativne pozicije vremenskog zaostajanja, pri čemu vremenski niz A slijedi vremenski niz B i obratno. Rezultati kros-korelacijske analize prikazuju se na kros-korelogramu.

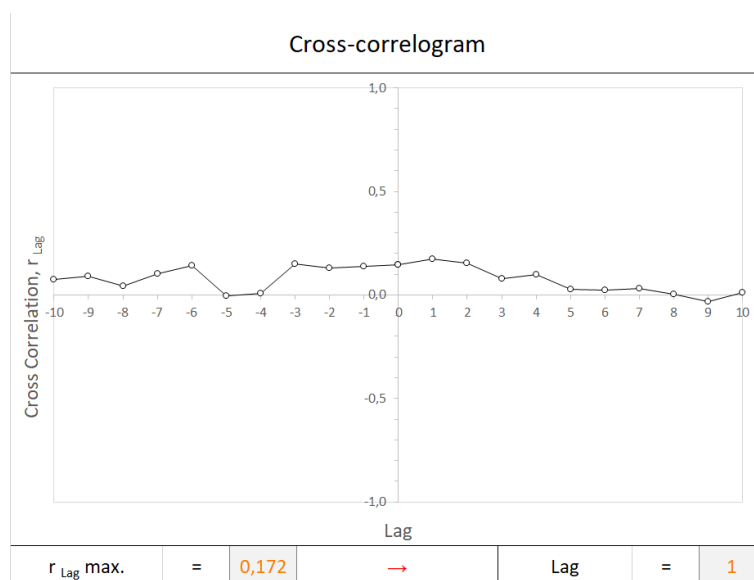
U nastavku slijedi prikaz kros-korelograma za određene piezometre, gdje nam Lag označuje vremensko zaostajanje (u danima).



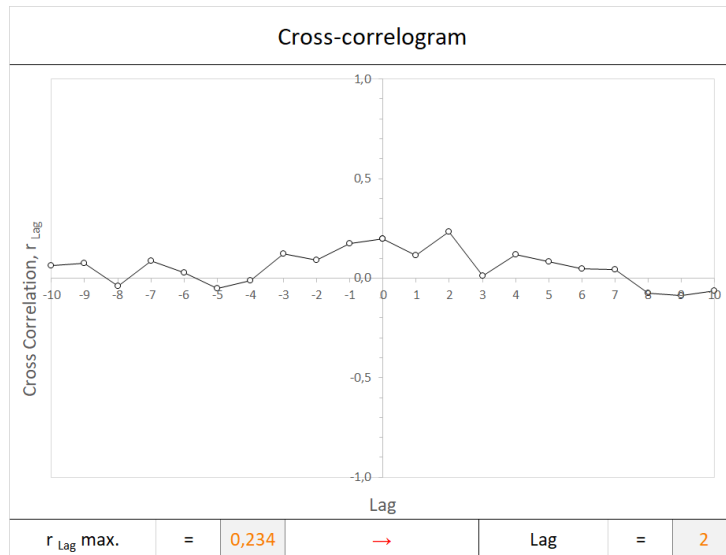
Slika 5-19. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_2



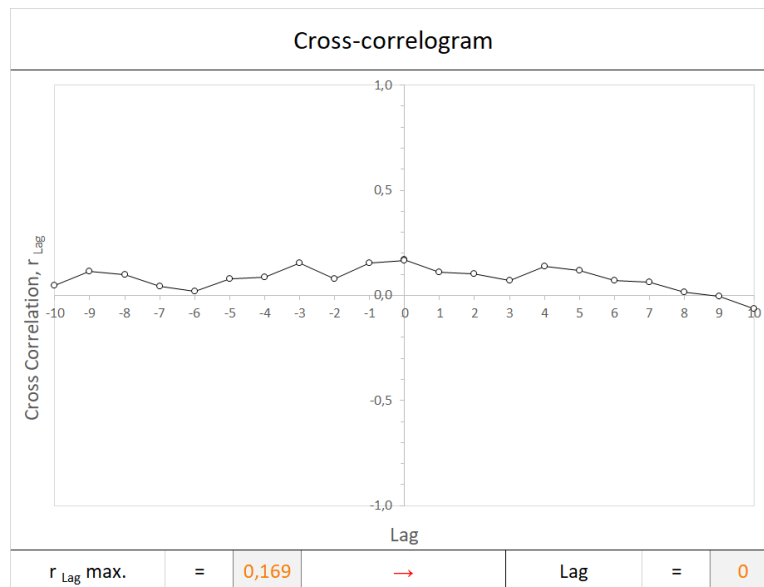
Slika 5-20. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_4\_1



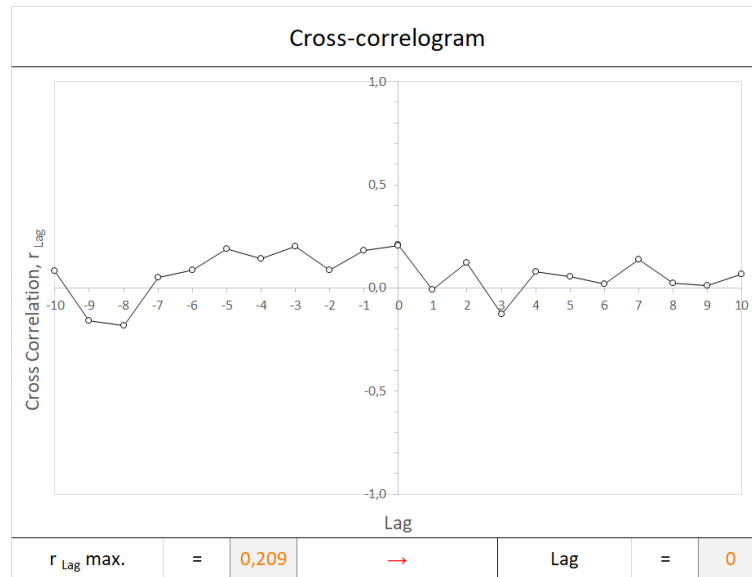
Slika 5-21. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_4\_3



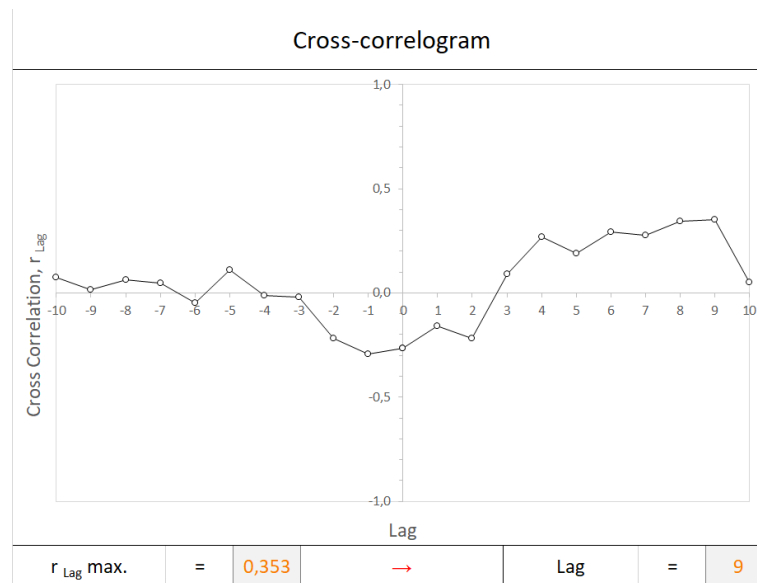
Slika 5-22. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_4\_4



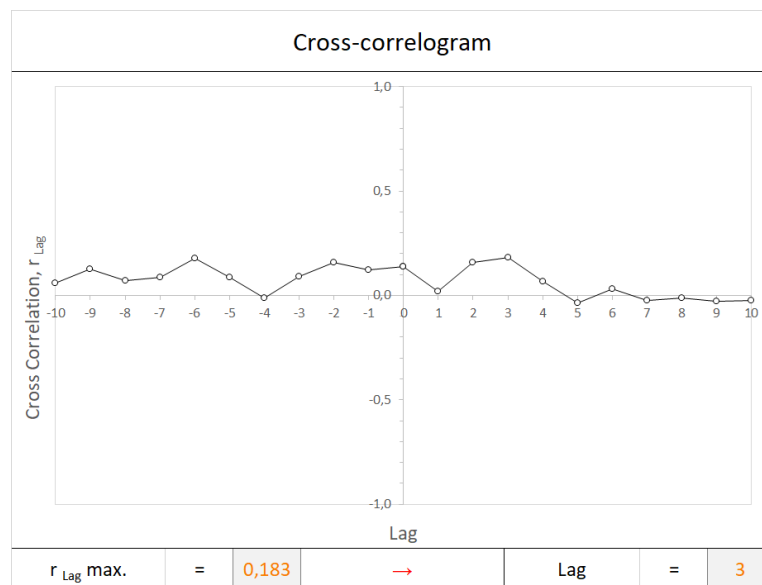
Slika 5-23. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_5



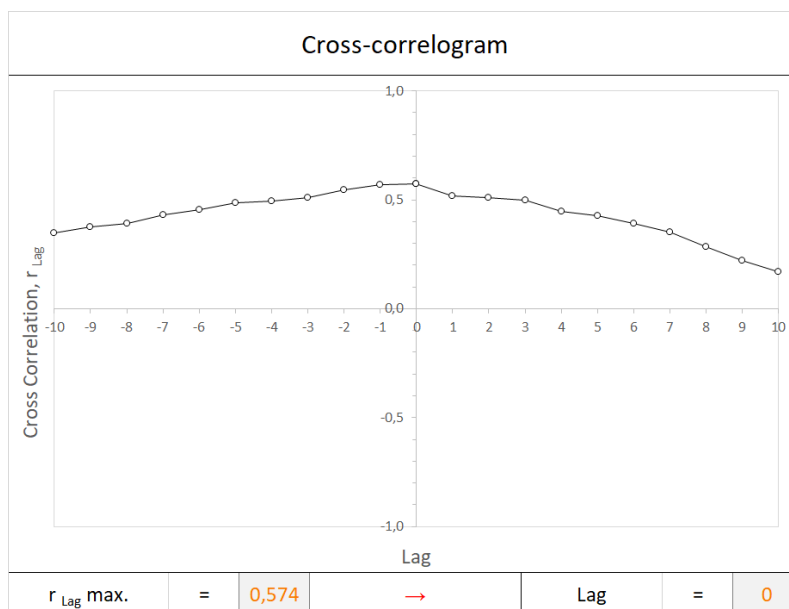
**Slika 5-24. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_6**



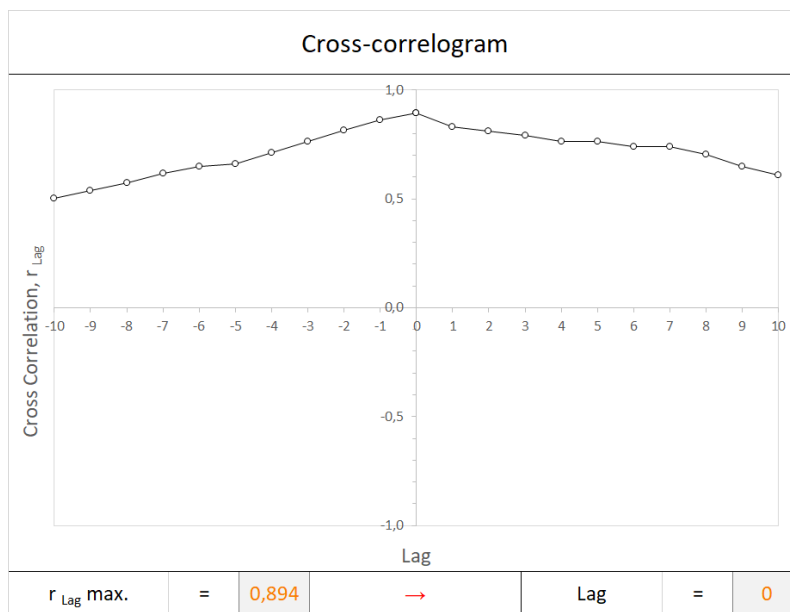
**Slika 5-25. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_8**



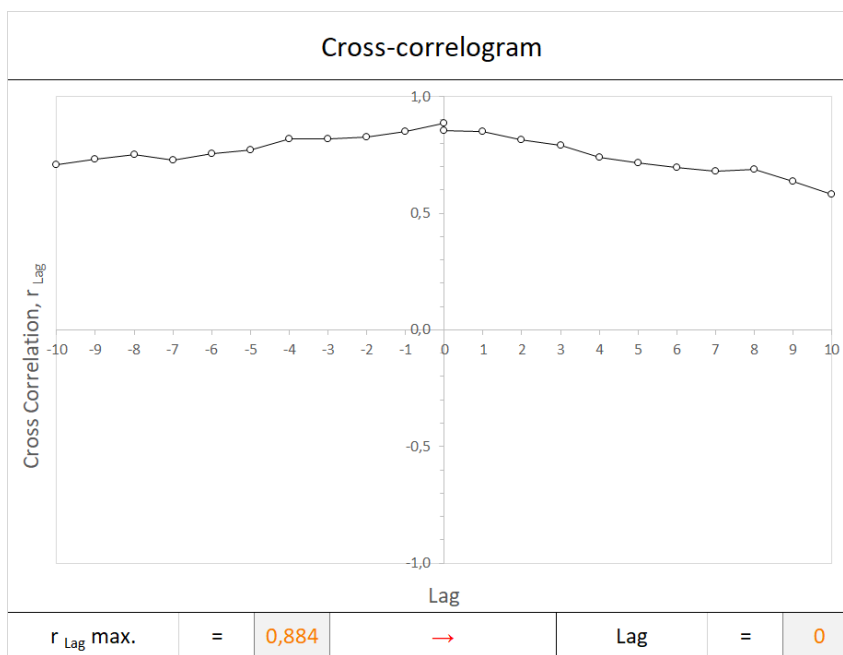
Slika 5-26. Prikaz kros-korelograma oborine/RPV za piezometar PZ\_9\_2



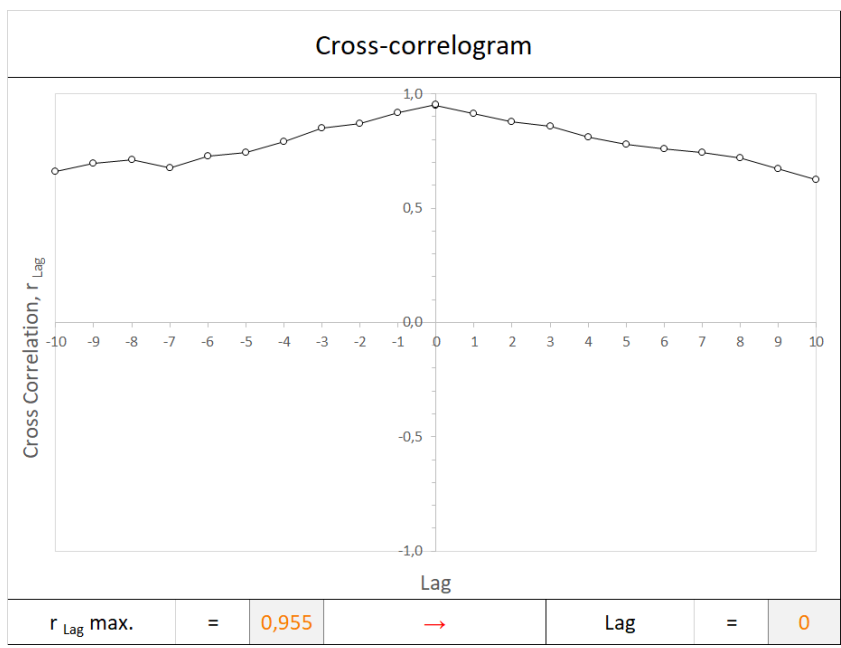
Slika 5-27. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_2



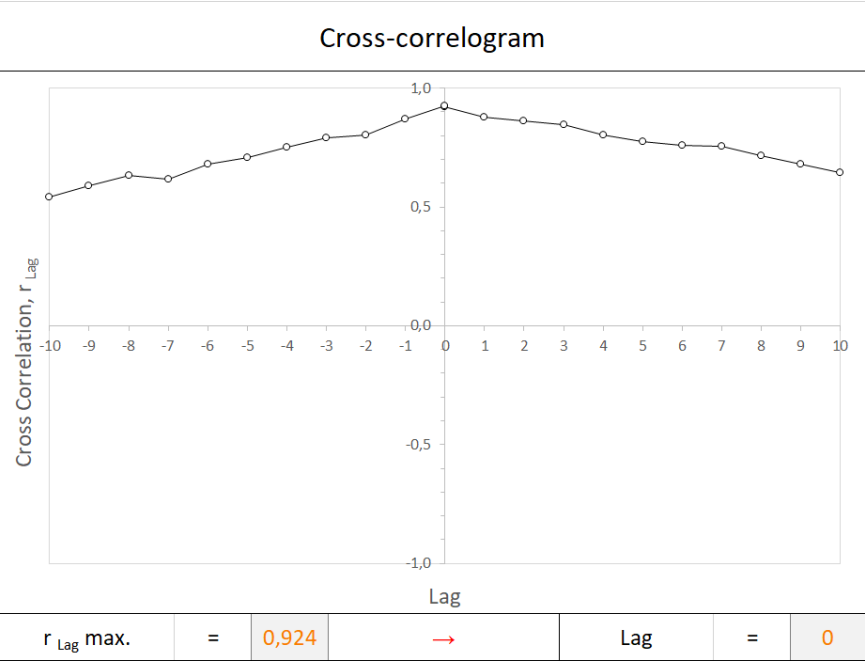
**Slika 5-28. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_3**



**Slika 5-29. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_1**

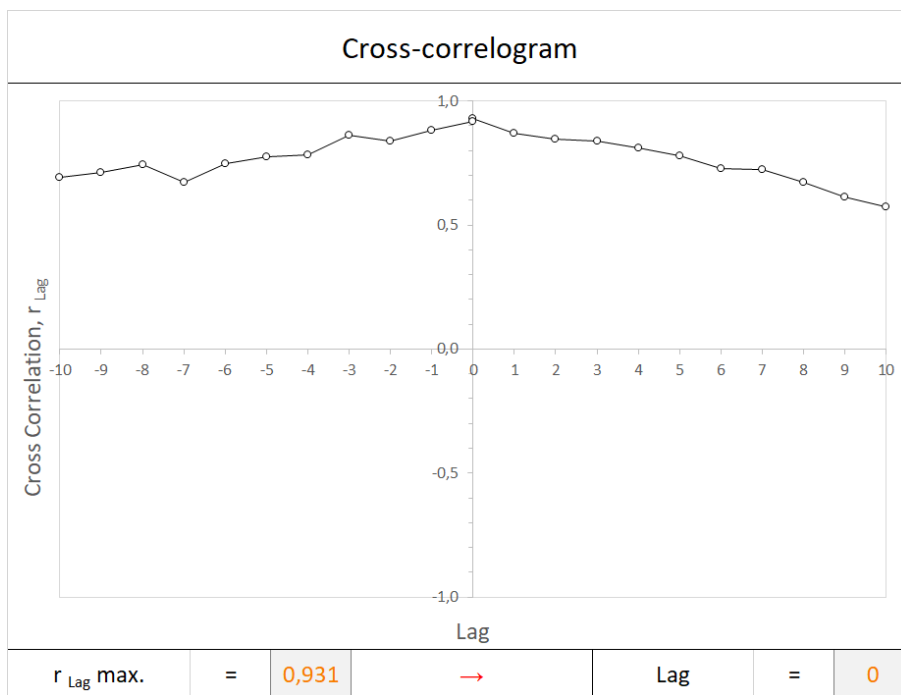


**Slika 5-30. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_2**

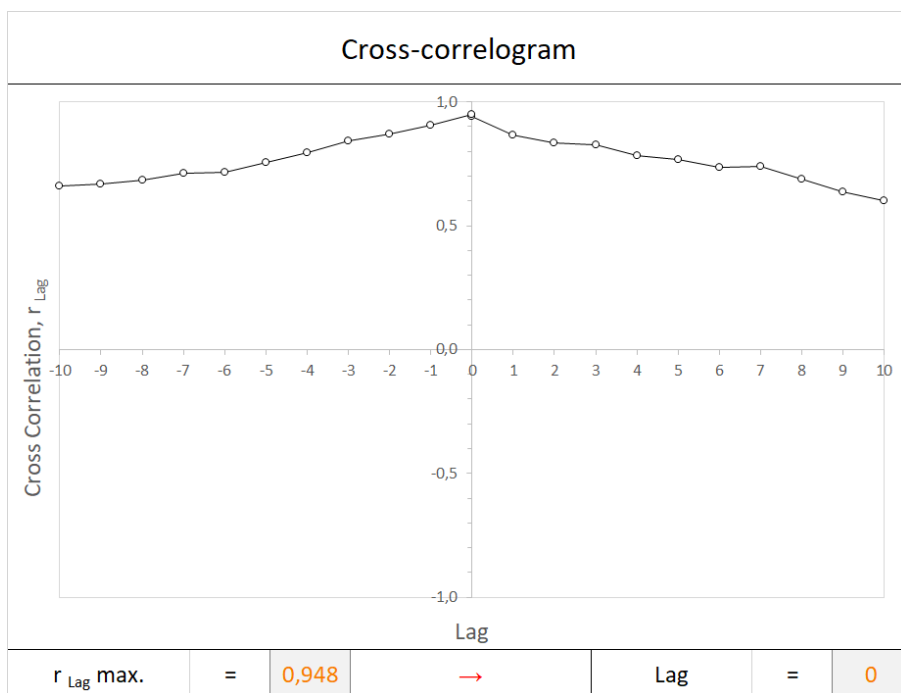


**Slika 5-31. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_3**

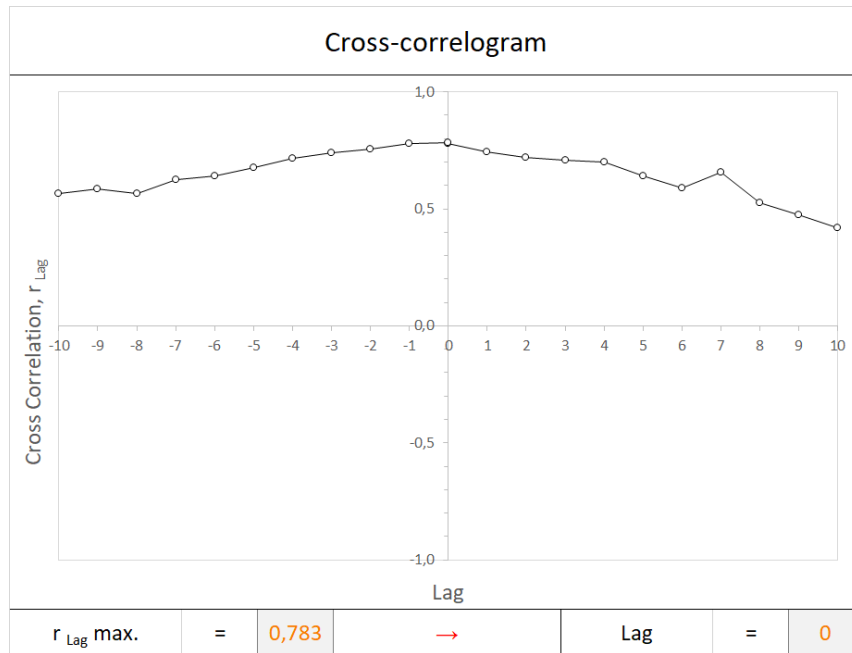




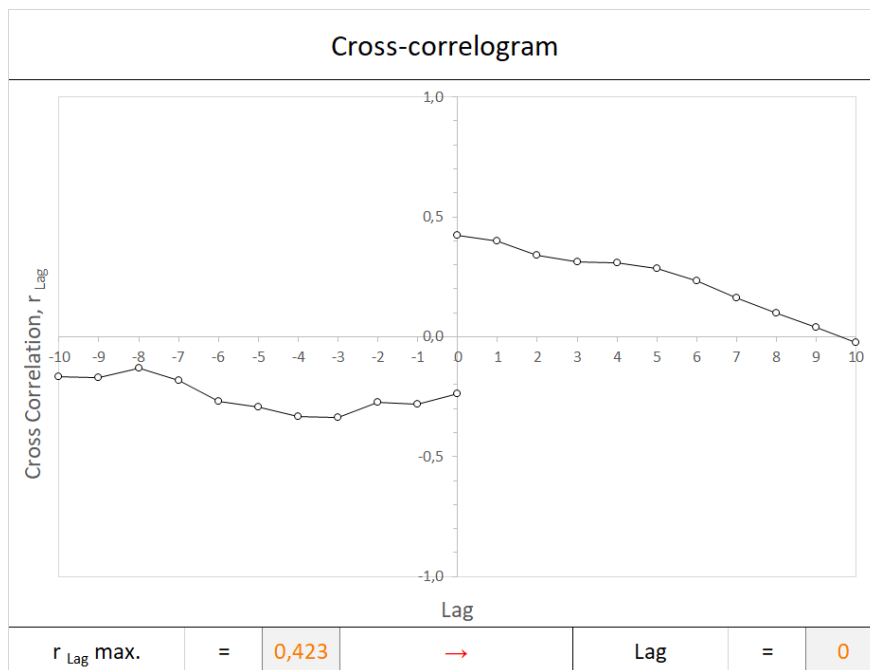
**Slika 5-32. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_4\_4**



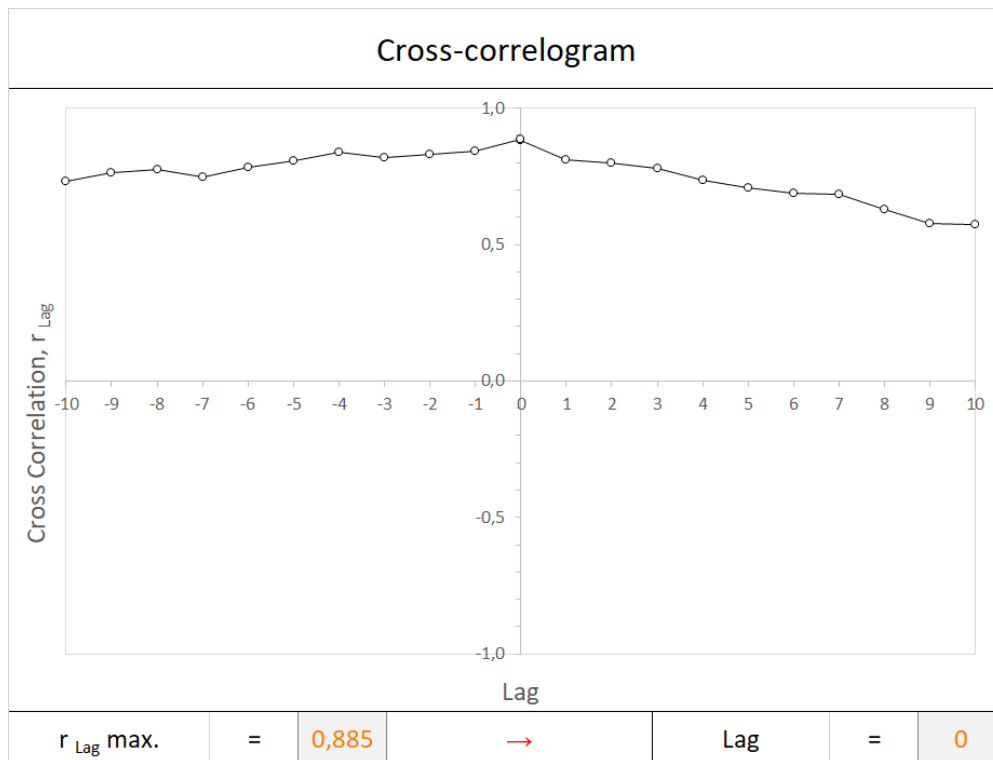
**Slika 5-33. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_5**



**Slika 5-34. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_6**



**Slika 5-35. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PZ\_8**



**Slika 5-36. Prikaz kros-korelograma crpljenje/RPV za piezometar PB\_18**

Može se uočiti kako je vremensko zaostajanje razina podzemne vode za crpljenjem jednako 0 dana s obzirom da postoji veliki međusobni utjecaj tih dviju varijabli, tj. da se maksimalna pozitivna korelacija  $r$  pojavljuje za vremensko zaostajanje **Lag**.

S druge strane razine podzemne vode zaostaju po par dana za oborinama iz čega se može zaključiti da postoji vrijeme potrebno za infiltraciju oborina kroz površinske naslage, tj. krovinu.

## 5.4. Regresijska metoda

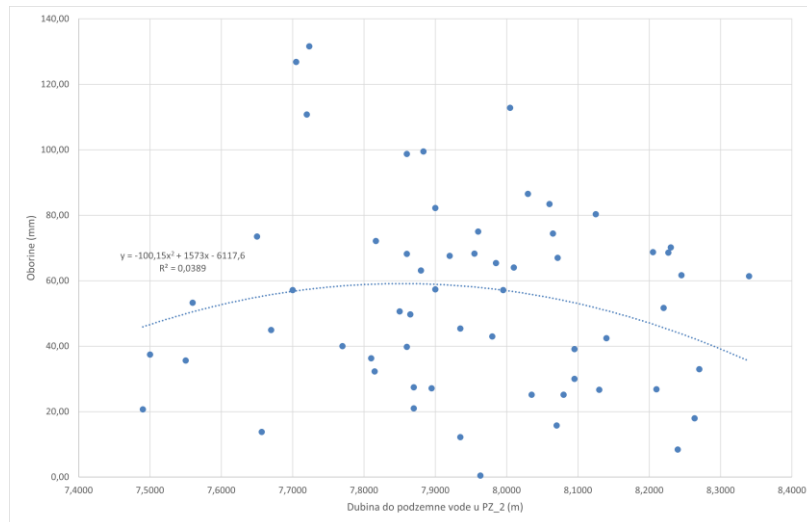
Analiza regresije korisna je kada želimo analizirati setove podataka odnosno mjerenja koja su uređena u prostoru (npr. promjena sadržaja vlage u tlu s promjenom dubine) ili vremenu (npr. promjena razine podzemne vode u vremenu) kao i kada želimo analizirati varijable koje su u međusobnoj funkcionalnoj ovisnosti (npr. promjena razine podzemne u vodonosniku u ovisnosti o promjenama vodostaja rijeke ili pak infiltraciji oborina).

Stoga je za analizu regresije potrebno poznavati lokacije ili pak vremena samih mjerenja, a generalno nas interesira i tendencija samih mjerenih podataka. Baš kao što kod korelacije razmatramo širenje ili disperziju dvije varijable oko zajedničke srednje vrijednosti odnosno odstupanje od njihove aritmetičke sredine, tako kod regresije razmatramo odstupanje podešene linije tj. regresijskog modela od aritmetičke sredine zavisne varijable  $Y$  kao i odstupanje mjerenih vrijednosti zavisne varijable,  $y_i$ , od te iste aritmetičke sredine.

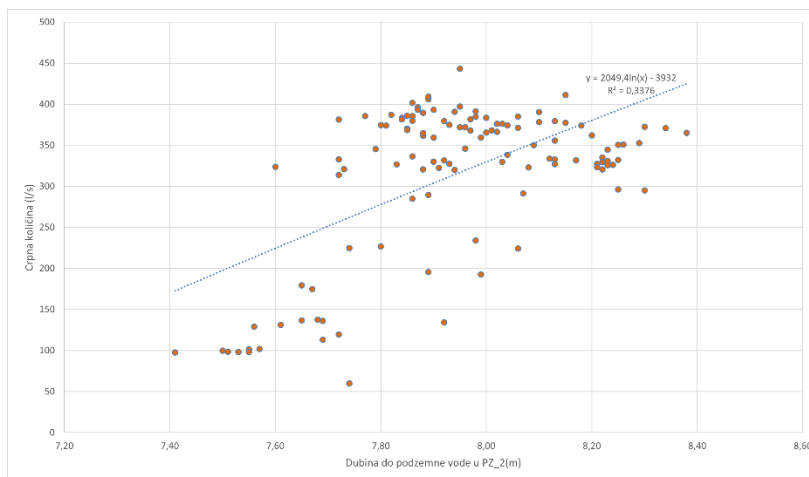
Da bi odredili mjeru podešenosti linije tj. regresijskog modela odnosno mjeru korisnosti modela, potrebno je definirati statistički parametar koji nazivamo koeficijent determinacije,  $R^2$ .

Ako linija tj. regresijski model dobro reprezentira mjerene vrijednosti,  $R^2$  će biti blizak jedinici dok će u suprotnom biti blizak nuli ( $0 \leq R^2 \leq 1$ ).  $R^2$  predstavlja mjeru koja nam omogućuje da odredimo koliko dobro podešena linija tj. regresijski model reprezentira mjerene podatke i određuje pouzdanost prognoziranja zavisne varijable pomoću dobivenog regresijskog modela. Vrijednost koeficijenta determinacije  $R^2$  daje nam postotak mjerenih podataka koji su najbliže podešenoj liniji tj. regresijskom modelu. Npr., ako je  $R^2 = 0,85$ , to znači da se 85% ukupnog odstupanja varijable  $Y$  od podešene linije tj. regresijskog modela, može objasniti linearnim odnosom između varijabli  $X$  i  $Y$  odnosno podešenom linijom tj. regresijskim modelom, dok 15% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno (Posavec, 2016).

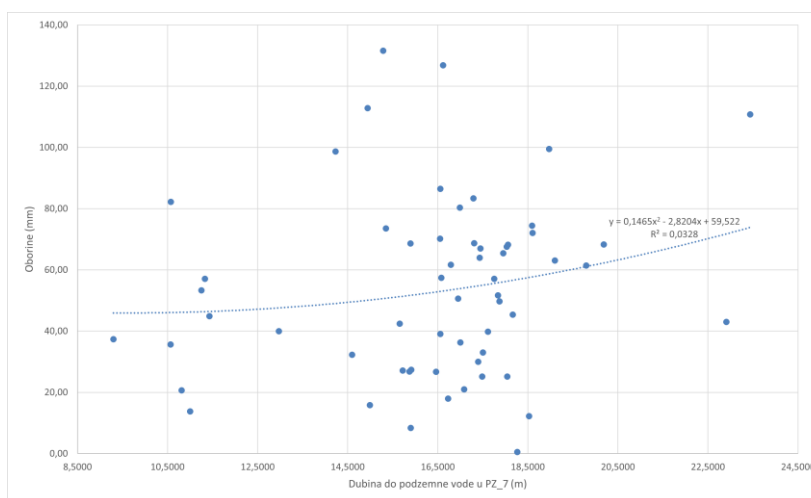
Slijede grafički prikazi regresijskih modela, oborine s obzirom na dubine do podzemne vode te crpljenja u odnosu na dubine do podzemne vode:



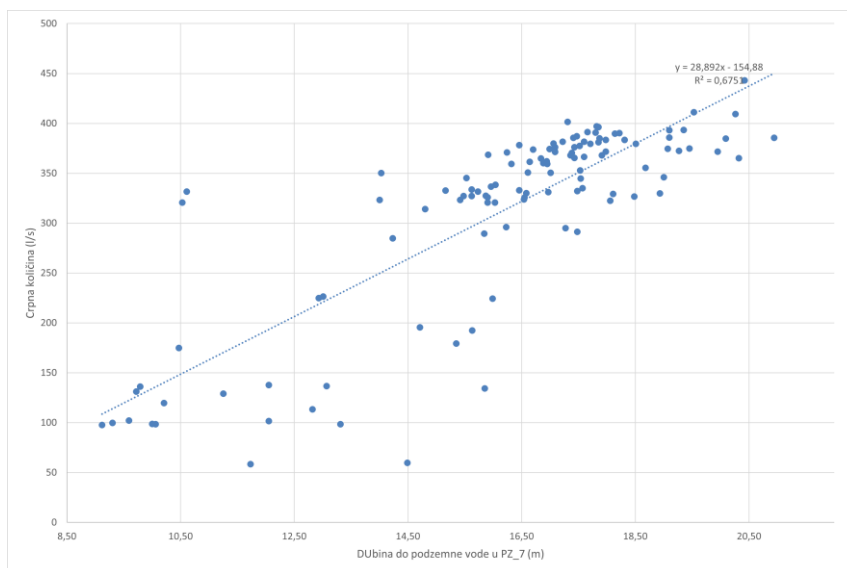
Slika 5-37. Prikaz regresijskog modela za oborine/dubine do p.v. za piezometar PZ\_2



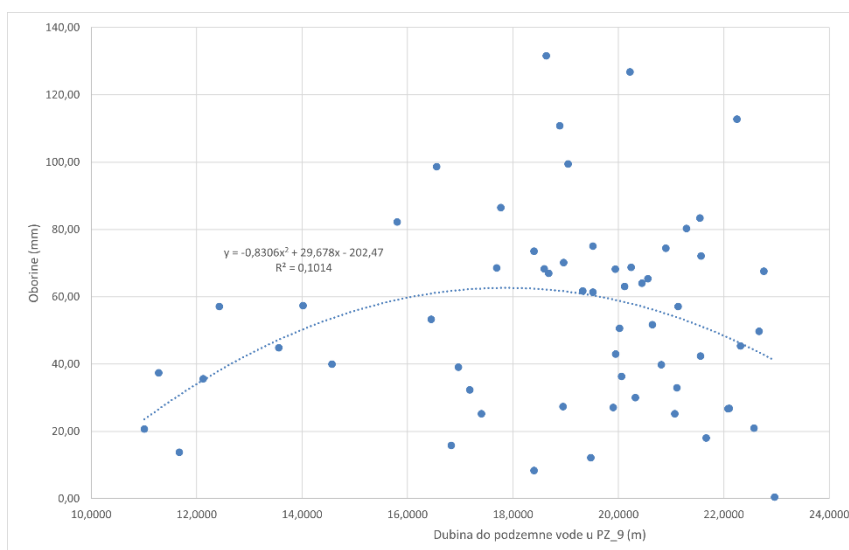
Slika 5-38. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PZ\_2



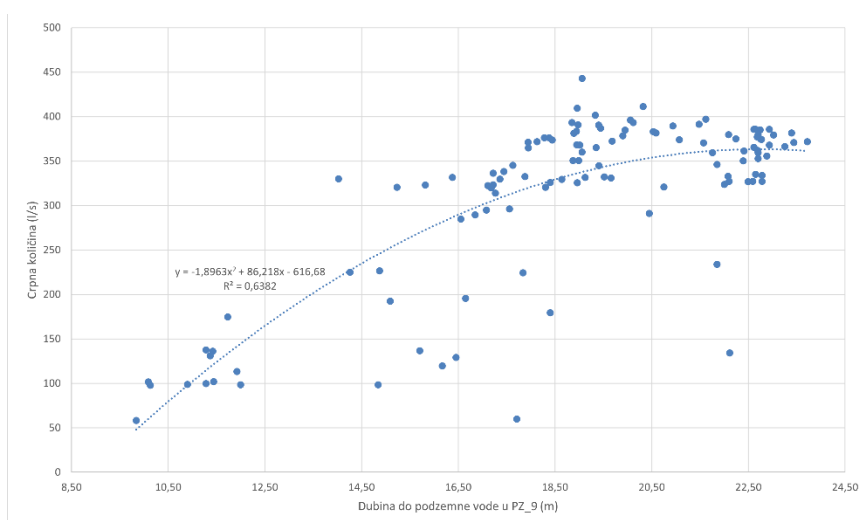
Slika 5-39. Prikaz regresijskog modela za oborine/dubine do p.v. za piezometar PZ\_7



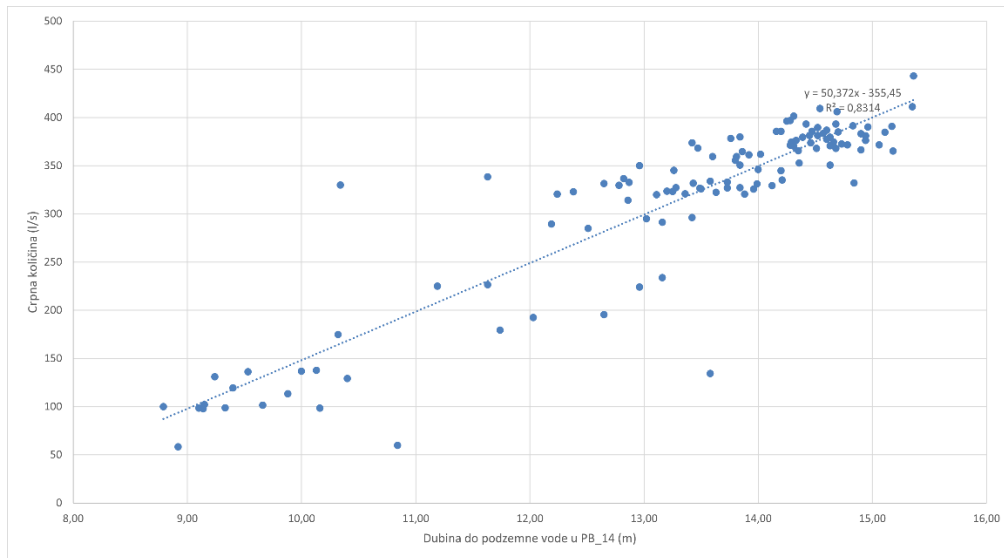
Slika 5-40. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PZ\_7



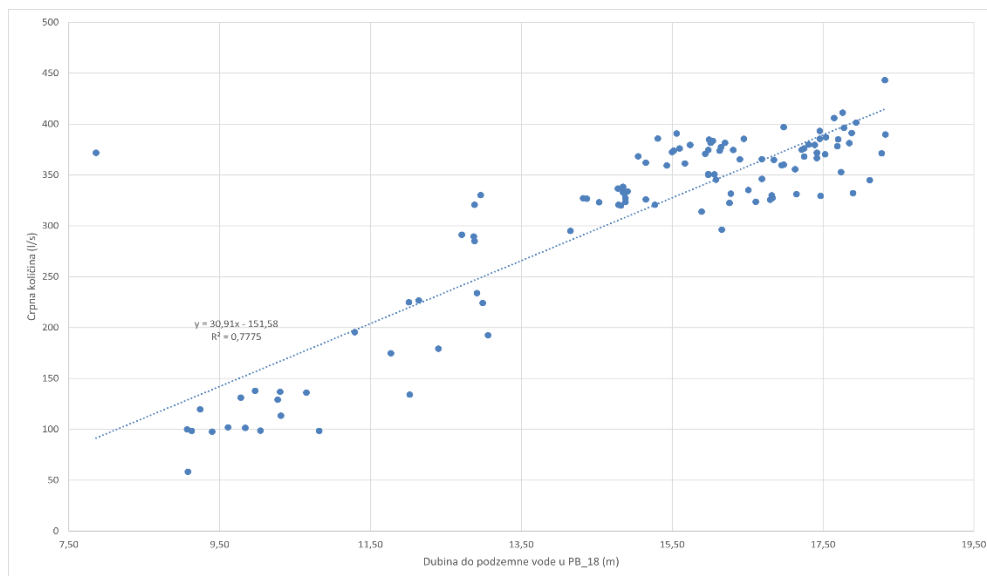
Slika 5-41 Prikaz regresijskog modela za oborine/dubine do p.v. za piezometar PZ\_9



Slika 5-42. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PZ\_9



Slika 5-43. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PB\_14



Slika 5-44. Prikaz regresijskog modela za crpljenje/dubine do p.v. za piezometar PB\_18

## 5.5. Kakvoća vode u zdencima i motriteljskoj mreži

Kakvoća podzemne vode bila je, uz količinu i ekonomičnost, jedan od osnovna tri kriterija pri razmatranju izbora vodocrpilišta Vinogradi kao izvorišta za vodoopskrbu Osijeka. Prva istraživanja bila su usmjerena na upoznavanje kakvoće podzemne vode u prirodnim uvjetima, a kasnija istraživanja usmjerena su na promatranje stabilnosti početne kakvoće i mogućih promjena pri intenzivnom crpljenju podzemnih voda.

U istraživanjima su, prije izgradnje i tijekom izgradnje vodocrpilišta Vinogradi, načinjene brojne skraćene i kompletne kemijske analize podzemne vode. Prve analize načinjene su na uzorcima vode iz istraživačko-piezometarskih bušotina. Rezultati tih analiza ukazali su na osnovne značajke podzemne vode u smislu hidrokemijskog facijesa, te povišeni sadržaj željeza i amonijaka što je bilo naročito važno za projektiranje uređaja za preradu vode.

Ipak se može reći da su se pouzdani podaci o kakvoći podzemne vode dobili tek na temelju analiza prikupljenih tijekom pokusnih crpljenja pojedinih zdenaca.

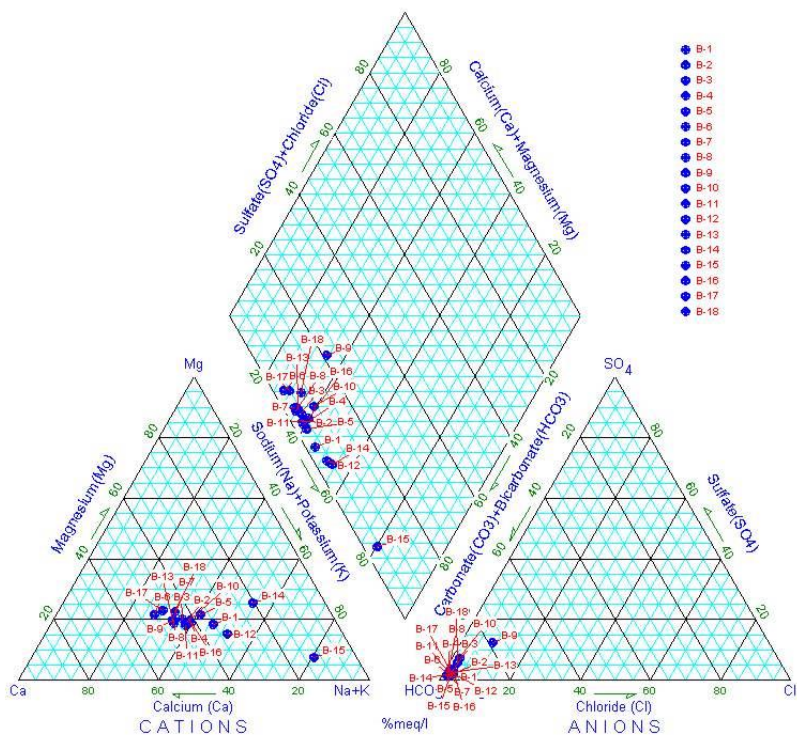
Kasnije u pogonu vodocrpilišta svakodnevno su rađene skraćene analize vode na ulazu u objekt preradbe vode, dakle prije narušavanja njene prirodne kakvoće. Kemijski sastav podzemne vode iz pojedinih zdenaca kontroliran je analizama koje su u pravilu vršene svakoga mjeseca. Kompletne analize prirodne vode načinjene su iz svakog od pojedinih zdenaca tijekom pokusnih crpljenja, a povremeno su pojedini parametri provjeravani istovremeno u više laboratorija.

Stanje osnovnoga kemizma podzemnih voda prikazan je u tablici 5.4 i na dijagramu slike 5.45.



Tablica 5.4. Vrijednosti osnovnih sastojaka u podzemnoj vodi

Zdenac	Fe	Mn	NH <sub>3</sub>	Uk. tvrd.	Alkal	Ca	Mg	Na*	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
	(mg/l)			°nh		(mg/l)					
B-1	1,77	0,15	1,76	21,4	31,7	122	47	90,9	658,8	0,96	6,2
B-2	1,04	0,09	1,93	23,6	32,3	87,4	27	145,2	671	2,26	4,5
B-3	1,15	0,09	1,81	22,0	32,3	95,4	17	139,3	671	0,67	3,25
B-4	1,55	0,13	1,97	22,5	31,2	108	21	115,7	646	2,88	4,3
B-5	1,20	0,09	1,97	22,32	31,4	115	13	113,5	652,7	0,02	3
B-6	1,35	0,11	2,03	21,9	32,3	107,4	32,6	118,9	671	1,24	4
B-7	0,99	0,08	2,12	18,4	30,3	82,2	12,9	134,3	628	0,11	2,72
B-8	0,98	0,08	1,91	19,7	31,7	71,3	24	157,9	658,8	0,46	2,34
B-9	1,15	0,10	2,03	21,9	30,6	94,2	31	119	634,4	0,01	2,65
B-10	0,98	0,09	1,91	22,7	32,3	92,2	21	140,6	671	0,04	2,89
B-11	1,45	0,13	2,43	22,1	29,2	94,2	37	106,5	607	0,05	3,9
B-12	1,46	0,13	2,01	25,7	31,7	101,8	25,5	126,7	658,8	0,68	8,76
B-13	1,04	0,08	1,86	22,8	32,3	79,3	29,2	150,3	671	0,09	2,26
B-14	0,83	0,07	1,66	18,0	32,3	72,2	17,5	164,5	671	0,01	2,26
B-15	1,75	0,15	2,02	22,9	30,0	108,3	23,3	103,3	622,2	0,02	3,17
B-16	0,99	0,13	2,56	22,9	29,1	50,1	26,5	159,1	603,9	0,11	2,68
B-17	2,05	0,17	2,18	30,4	30,6	102,6	40,8	113,7	634,4	2,56	15,3
B-18	1,76	0,16	2,30	33,6	32,9	119,4	37,9	157,7	683,2	39,19	54,4



Slika 5-45. Dijagram hidrokemijskoga facijesa podzemnih voda vodocrpilišta Vinogradi

Iz prikazanoga stanja hidrokemijskih facijesa može se zaključiti da je opće obilježje kemizma podzemnih voda ostalo neizmijenjeno unatoč tome što nema izravnih podataka o sadržaju natrija za pojedine zdence, te činjenici što su se po profilu vodonosnika kao i u nekim perifernim dijelovima pojavljivale razlike. Mjerno mjesto Čepin sadrži podzemnu vodu kalcijsko-natrijskog i natrijsko-kalcijskog tipa. Mjerno mjesto Vinogradi pokazuje više koncentracije sulfata pa je voda bikarbonatno-sulfatnog tipa. Podzemne vode pripadaju  $\text{CaMg-HCO}_3$ ,  $\text{MgCa-HCO}_3$ ,  $\text{CaMgNa-HCO}_3$  i  $\text{NaCa-HCO}_3$  hidrogeokemijskim facijesima.

Općenito se može reći da se globalne značajke kvalitete podzemne vode nisu značajno promijenile u eksploataciji, te da su osnovni kemijski sastojci podzemnih voda pod dominantnim utjecajem ambijenta u sloju iz kojega je zahvaćena.

## 6. Zaključak

Vodocrpilište Vinogradi uključeno je u pogon 1984. i od tada služi u sustavu crpljenja vode. Ono se sastoji od 6 piezometarskih gnijezda i 7 piezometara i sve ukupno 18 eksploatacijskih zdenaca kojima su zahvaćeni slojevi u intervalu dubina od 40m do 175m, dok se ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdencima kreće od 56,8 do 78,8 m.

U okviru diplomskog rada je analiziran utjecaj količine oborina te kolebanja crpnih količina u eksploatacijskim zdencima na razinu podzemne vode u zahvaćenom vodonosnom sustavu, s obzirom na udaljenost opažачkih objekata od linije eksploatacijskih zdenaca. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od 2016. do 2020. godine. Podaci o crpnim količinama prikazuju relativni postepeni pad crpnih količina. Crpne količine u 2016. godini iznose oko 430 l/s i padaju na vrijednosti od oko 300 l/s i manje u 2020. godini (150 l/s).

To je direktno povezano sa razinama podzemnih voda u tom razdoblju jer su tada one dosegule najviše vrijednosti (između 70-80 m.n.m.) što je dano koeficijentom korelacije te regresije. Veza između razina podzemne vode i crpne količine je obrnuto proporcionalna (što više crpimo, tj. veća crpna količina, to su razine podzemne vode niže).

Količine oborina su u promatranom razdoblju najniže iznose dosegule u zadnjoj godini promatranja (2020. godini) i iznosile su 578 mm (za usporedbu u prvoj godini promatranog razdoblja (2016. godina) iznosile su 755 mm). Količina oborina je u proporcionalnoj vezi sa razinama podzemne vode.

Režim rada zdenaca dominantno utječe na kolebanja razina podzemne vode u slojevima zahvaćenim eksploatacijski zdencima, ali se uočava i utjecaj sezonskih kolebanja oborina te promjene usred posljedica zatvaranja zdenačkih sita, prepoznate kao smanjenje razine podzemne vode u pojedinim intervalima.

Potrebno je pomno praćenje vodonosnog sustava Vinogradi te treba naglasiti potrebu njegove zaštite odnosno održavanja prirodne kakvoće vode u njima.

## 7. Literatura

- DUIĆ, Ž. (2007): Obnovljivost zaliha podzemnih voda heterogenog vodonosnog kompleksa na primjeru osječkog vodocrpilišta Vinogradi. Disertacija. Rudarsko geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž., URUMOVIĆ, K. (2011): Verifikacija rada vodocrpilišta Vinogradi. Fond stručnih dokumenata RGN fakulteta, Zagreb.
- MAGAŠ, N. (1987): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Osijek L 34-86. Geološki zavod Zagreb, 1981-1987. Savezni geološki zavod, Beograd.
- MAGAŠ, N. (1986): Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Osijek L 34 86. Geološki zavod Zagreb, 1986. Savezni geološki zavod, Beograd.
- POSAVEC, K., ŠKUDAR, S. (2016): Matematičke metode i nazivlje u geologiji
- RAJIĆ, B. (2016): Analiza podzemnih voda na vodocrpilištu Vinogradi u Osijeku
- URUMOVIĆ, K. (1982): Hidrogeološke značajke istočnog dijela dravske potoline. Doktorska disertacija.
- URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. (1978): O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska). Geol. vjesnik, 30/1, 297-304, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J., VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih, te gornjo i srednjo-pliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. IV jug. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 2, 395-410, Skopje.
- URUMOVIĆ, K., KLEMAR, M., HERNITZ, Z., ŠIMON, J., PRELOGOVIĆ, E. (1976): Vodoopskrba Osijeka zahvatom podzemnih voda. Prethodna hidrogeološka istraživanja 1975.-1976. Fond stručnih dokumenata RGN fakulteta, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., MADŽARAC, A. (1978): Studija vodoopskrbe Osijeka podzemnim vodama (I. etapa). Fond stručnih dokumenata RGN fakulteta, Zagreb

[www.izvori](http://www.izvori):

DHMZ. Dnevna količina oborine (Osijek-Čepin) <https://meteo.hr> (28.9.2021.)