

# Identifikacija utjecaja praga TE-TO na rijeci Savi na razine podzemne vode neposrednog zaobalja

---

Lijić, Anđela

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*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:169:048215>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**IDENTIFIKACIJA UTJECAJA PRAGA TE-TO NA RIJECI SAVI NA  
RAZINE PODZEMNE VODE NEPOSREDNOG ZAOTALJA**

Diplomski rad

Anđela Lijić  
GI455

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/15  
URBROJ: 251-70-03-23-2  
U Zagrebu, 6. 2. 2023.

Anđela Lijić, studentica


## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/15, URBROJ: 251-70-03-23-1 od 1. 2. 2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### IDENTIFIKACIJA UTJECAJA PRAGA TE-TO NA RIJECI SAVI NA RAZINE PODZEMNE VODE NEPOSREDNOG ZAOTALJA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof. dr. sc. Kristijan Posavec nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.


Mentor:

  
(potpis)

Prof. dr. sc. Kristijan Posavec

(titula, ime i prezime)

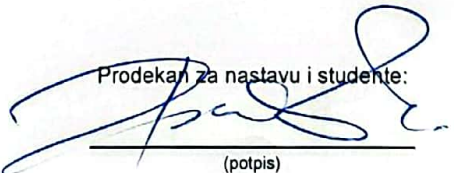
Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

  
(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)

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

IDENTIFIKACIJA UTJECAJA PRAGA TE-TO NA RIJECI SAVI NA RAZINE PODZEMNE  
VODE NEPOSREDNOG ZAOTALJA

Anđela Lijić

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

Sažetak

U radu je određen utjecaj praga TE-TO na rijeci Savi na razine podzemne vode u neposrednom zaobalju. Analizirani su podaci o razinama podzemne vode izmjereni u odabranim piezometrima od 3. siječnja 2019. do 31. prosinca 2020. godine. Korištene su statističke metode korelacije, linearne regresije i kros-korelacije, a obrada podataka, za korelaciju i linearnu regresiju, provedena je u programu Microsoft Excel, te u namjenskom VBA programu za kros-korelaciju. Metoda korelacije za cilj je imala utvrđivanje jakosti veze između vodostaja zabilježenog na postaji Dovodni kanal TE-TO i razine podzemne vode zabilježene u piezometrima. Rezultati svih kombinacija korelacija imaju pozitivan smjer, što znači da porastom vodostaja rijeke Save raste razina podzemne vode u piezometrima. Metoda linearne regresije rezultirala je jednadžbama pravca za svaku kombinaciju obrađivanih podataka, te koeficijentima determinacije. Metodom kros-korelacije dobiveni su koeficijenti korelacije temeljem kojih je određeno zaostajanje jedne varijable (razine podzemne vode) za drugom (vodostaji rijeke Save). Primijećena je bolja povezanost vodostaja na postaji s piezometrima na lijevoj obali Save. Većom udaljenosti piezometara od mjerne postaje smanjuju se vrijednosti dobivenih koeficijenata.

Ključne riječi: rijeka Sava, prag TE-TO, piezometar, korelacija, regresija, kros-korelacija

Diplomski rad sadrži: 56 stranica, 48 slika, 31 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Kristijan Posavec, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Jelena Parlov, izvanredni profesor RGNF

Dr. sc. Kristijan Posavec, redoviti profesor RGNF

Dr. sc. Zoran Kovač, docent RGNF

Datum obrane: 17. veljače 2023.

IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE WATER LEVELS OF THE TE-TO  
SUPPLY CHANNEL ON THE GROUNDWATER LEVELS OF THE ZAGREB AQUIFER

Andela Lijić

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 paper determines the influence of the TE-TO threshold on the Sava River on the groundwater levels in the immediate vicinity. Data on groundwater levels measured in selected piezometers from January 3, 2019 to December 31, 2020 were analyzed. Statistical methods of correlation, linear regression and cross-correlation were used, and data processing for correlation and linear regression was carried out in Microsoft Excel and in a dedicated VBA program for cross-correlation. The purpose of the correlation method was to determine the strength of the connection between the water level recorded at the station Dovodni Kanal TE-TO and the level of underground water recorded in the piezometers. The results of all combinations of correlations have a positive direction, which means that with the increase in the water level of the Sava River, the level of groundwater in the piezometers increases. The linear regression method resulted in line equations for each combination of processed data, and coefficients of determination. Using the cross-correlation method, correlation coefficients were obtained based on which the lag of one variable (groundwater level) after another (water levels of the Sava River) was determined. A better connection of the water level at the station with the piezometers on the left bank of the Sava was noticed. The greater the distance of the piezometers from the measuring station, the lower the values of the obtained coefficients.

Keywords: TE-TO supply channel, piezometer, correlation, regression, cross-correlation

Thesis contains: 56 pages, 48 images, 31 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Kristijan Posavec, PhD

Reviewers: Associate Professor Jelena Parlov, PhD

Full Professor Kristijan Posavec, PhD

Assistant Professor Zoran Kovač, PhD

Date of defense: February 17, 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
University of Zagreb

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	3
2.1. OPĆI PODACI .....	3
2.2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	4
2.3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	5
2.4. PRAG TERMOELEKTRANA – TOPLANA (TE – TO) ZAGREB .....	6
3. METODE OBRADE PODATAKA .....	9
3.1. KORELACIJA.....	11
3.2. REGRESIJA .....	12
3.3. KROS-KORELACIJA.....	14
4. MJERNE POSTAJE I KORIŠTENI PODACI.....	15
5. REZULTATI OBRADE PODATAKA .....	20
5.1. KORELACIJA.....	20
5.2. POLINOMNA REGRESIJA .....	28
5.3. KROS-KORELACIJA.....	40
6. ZAKLJUČAK.....	52
7. LITERATURA .....	54

## POPIS SLIKA

Slika 2.1: Istraživano područje (preuzeto iz: Posavec, 2006) .....	3
Slika 2.2: Shematski profil zagrebačkog vodonosnog sustava (preuzeto iz: Posavec, 2006)	5
Slika 2.3: Karakteristični poprečni presjek primarnog praga .....	7
Slika 2.4: Karakteristični poprečni presjek sekundarnog praga .....	7
Slika 2.5: Poprečni presjeci nadograđenog primarnog i sekundarnog praga .....	8
Slika 3.1: Simetrična i asimetrična razdioba s prikazom moda, medijana i aritmetičke sredine (preuzeto iz: Posavec i Škudar, 2016.).....	9
Slika 3.2: Standardne devijacije normalne razdiobe (preuzeto iz: Posavec i Škudar, 2016.)	10
Slika 3.3: Dijagrami rasipanja za različite vrijednosti koeficijenta korelacije (preuzeto iz: Gulić, 2018.).....	11
Slika 4.1: Prikaz lokacija mjerenih postaja i piezometara.....	16
Slika 4.2: Prikaz nivograma mjerenih postaja vodostaja rijeke Save.....	17
Slika 4.3: Prikaz nivograma piezometara .....	17
Slika 4.4: Prikaz rezultata analize Regression.....	18
Slika 4.5: Prikaz sučelja VBA programa za kros-korelaciju.....	19
Slika 5.1: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 81 s koeficijentom korelacije.....	21
Slika 5.2: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 90 s koeficijentom korelacije.....	21
Slika 5.3: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 107 s koeficijentom korelacije.....	22
Slika 5.4: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 122 s koeficijentom korelacije.....	22
Slika 5.5: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 240 s koeficijentom korelacije.....	23
Slika 5.6: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 298 s koeficijentom korelacije.....	23
Slika 5.7: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 658 s koeficijentom korelacije.....	24
Slika 5.8: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 888 s koeficijentom korelacije.....	24

Slika 5.9: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 892 s koeficijentom korelacije.....	25
Slika 5.10: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 5283 s koeficijentom korelacije.....	25
Slika 5.11: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 5284 s koeficijentom korelacije.....	26
Slika 5.12: Prikaz piezometara sa pripadajućim koeficijentima korelacije (naziv piezometra označen je crnom bojom, a koeficijent korelacije plavom bojom) .....	27
Slika 5.13: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 81 s jednadžbom polinoma II. Stupnja i koeficijentom determinacije .....	28
Slika 5.14: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 90 s jednadžbom polinoma II. Stupnja i koeficijentom determinacije .....	29
Slika 5.15: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 107 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	30
Slika 5.16: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 122 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	31
Slika 5.17: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 240 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	32
Slika 5.18: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 298 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	33
Slika 5.19: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 658 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	34
Slika 5.20: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 888 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	35
Slika 5.21: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 892 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	36
Slika 5.22: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5283 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	37
Slika 5.23: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5284 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije.....	38
Slika 5.24: Prikaz piezometara sa pripadajućim koeficijentima determinacije (naziv piezometra označen je crnom bojom, a koeficijent determinacije plavom bojom) .....	39
Slika 5.25: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 81 .....	40



Slika 5.26: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 90 .....	41
Slika 5.27: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 107 .....	42
Slika 5.28: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 122 .....	43
Slika 5.29: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 240 .....	44
Slika 5.30: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 298 .....	45
Slika 5.31: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 658 .....	46
Slika 5.32: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 888 .....	47
Slika 5.33: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 892 .....	48
Slika 5.34: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5283 ...	49
Slika 5.35: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5284 ...	50
Slika 5.36: Prikaz piezometara sa vremenskim zaostajanjima (naziv piezometra označen je crnom bojom, a vremensko zaostajanje plavom bojom) .....	51

## 1. UVOD

U radu je određen utjecaj praga TE-TO odnosno vodostaja rijeke Save kod mjerne postaje Dovodni kanal TE-TO na podzemne vode zabilježene u piezometrima na desnoj i lijevoj obali neposrednog zaobalja. Korištene su statističke metoda korelacije, regresije i kros-korelacije. Jačinu veze između odnosa dviju varijabli možemo odrediti metodom korelacije, odnosno njome povezanim koeficijentom korelacije,  $r_{jk}$ . Njime također iskazujemo linearni odnos dvije varijable. Pozitivne vrijednosti koeficijenta korelacije ukazuju na proporcionalnost dviju varijabli, tj. porastom jedne varijable raste druga varijable, dok kod negativnih vrijednosti porastom jedne varijable, vrijednost druge varijable opada. Regresija je statistička metoda razvijena za ispitivanje unutarnje ovisnosti ili odnosa između dviju ili više varijabli (Žugaj, 2000). Metoda ispituje promjene zavisne varijable koju promatramo (razine podzemne vode, u daljnjem tekstu RPV) i čije promjene objašnjavamo pomoću drugih nezavisnih varijabli (vodostaj rijeke). Koeficijent determinacije, kojeg je potrebno definirati pri provedbi metode, određuje reprezentativnosti regresijskog modela. Kros-korelacijom određuje se stupanj povezanosti dva vremenska seta podataka. Primjenom metode dobivamo podatke o jačini veze između dva promatrana vremenska niza te međusobni vremenski zaostatak (razmak između varijabli u trenutku maksimuma njihove usklađenosti) (Davis, 2002).

Slične analize zabilježene su u radovima različitih autora. Tako je Vukojević (2010) u radu koristio spomenute statističke metode da bi odredio utjecaje vodostaja rijeka Drave i Dunava na vodostaje jezera Sakadaš. Provedena je analiza podataka za period od 2002. do 2005. godine. Rezultati metode korelacije ukazali su na visoku povezanost između spomenutih vodostaja jezera i rijeka, tj. do porasta vodostaja jezera dolazi uslijed porasta vodostaja rijeka. Metodom regresije dobiva koeficijente determinacije koji u oba slučaja ukazuje na vrlo dobru mogućnost prognoziranja vodostaja jezera. Metodom kros-korelacije utvrđuje da je u slučaju rijeke Dunav vremensko zaostajanje promjene vodostaja jezera Sakadaš dva dana, a u slučaju rijeke Drave vremensko zaostajanje iznosi jedan dan.

Ratkaj (2014) uz pomoć navedenih metoda određuje utjecaj rijeke Save na jezero Jarunu. Pri analizi koristio je podatke u razdoblju od 9. svibnja 2014. do 12. lipnja 2014. godine s tri piezometra koja se nalaze blizu jezera Jarun i podatke preuzete s hidrološke postaje Sava Zagreb. Nakon provedenih analiza dobiva različite vrijednosti koeficijenata korelacije, koje je objasnio utjecajem udaljenosti piezometara od rijeke. Polinomne regresijske modele dobio

je primjenom metode regresije, te su mu oni omogućili prognoziranje RPV-a zabilježenog u piezometrima, uz poznavanje vrijednosti vodostaja Save. Kros-korelacijom je utvrdio da vodostaj Jaruna raste 1 do 2 dana nakon porasta vodostaja na Savi.

Bedeniković (2017) je u svom radu odredila hidrauličku vezu između rijeke Odre s RPV-om istočnog dijela zagrebačkog vodnonosnog sustava. Podaci korišteni u radu odnose se na razdoblje od 1. siječnja 2004. godine do 31. kolovoza 2012. godine. Dobiveni  $r$  upućuje na slabu povezanost vodostaja Odre i RPV-a zagrebačkog vodonosnika. Nizak koeficijent determinacije dobiven je linearnom regresijom koji upućuje na nisku pouzdanost prognoziranja vodostaja rijeke Odre na temelju RPV-a. Potrebno vrijeme za promjenu vodostaja rijeke Odre uslijed promjene RPV-a, određeno je metodom kros-korelacije te iznosi jedan dan.

Al-Ahmed (2017) u radu određuje utjecaj praga TE-TO na RPV neposrednog zaobalja pomoću već ranije spomenutih statističkih metoda. Korišteni su podaci u rasponu od 1994. do 2000. godine s piezometara 298, 888, 892, 5225 te postaje Dovodni kanal TE-TO. Metodom korelacije dobivena su četiri koeficijenta korelacije koji pokazuju dobru do slabu pozitivnu korelaciju. Dobiveni koeficijenti determinacije većinom ukazuju da regresijski model dobro ne opisuje mjerne podatke. Kros-korelacijom je zaključio da do porasta RPV-a u piezometrima dolazi 1-3 dana nakon porasta vodostaja na mjernoj postaji Dovodni kanal TE-TO

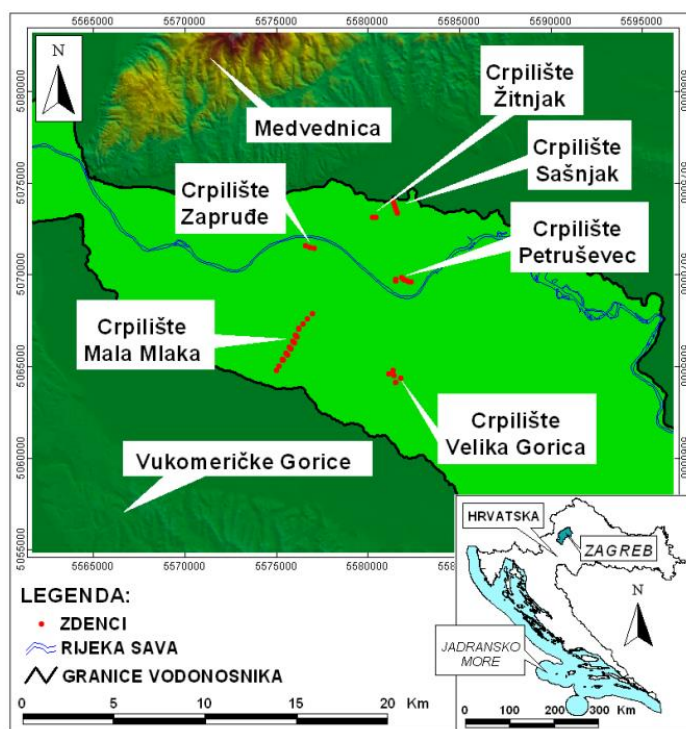
Na isti je način u ovom radu određen utjecaj vodostaja mjerenog na mjernoj postaji Dovodni kanal TE-TO na RPV u piezometrima za razdoblje u periodu od 3. siječnja 2019. do 31. prosinca 2020. godine. Obzirom da s vremenom dolazi do promjene elevacije krune praga TE-TO uslijed velike energije koju rijeka Sava ima, a za što ne postoji službeni monitoring, utjecaj praga TE-TO na razine podzemne vode se s vremenom mijenja. Stoga je u ovom radu analiziran utjecaj koristeći recentna mjerenja vodostaja Save i RPV-a. Metodama korelacije, regresije i kros-korelacije određeni su utjecaji na 11 piezometara, 5 na desnoj i 6 na lijevoj strani obale rijeke Save.

Koeficijenti korelacije u prosjeku ukazuju na srednje jaku pozitivnu korelaciju, kako na lijevoj, tako i na desnoj obali rijeke Save. Promatrajući prosječnu vrijednost koeficijenta determinacije, možemo reći da se otprilike 50% ukupnog odstupanja RPV-a od regresijskog modela može pojasniti odnosom među varijablama visina vodostaja na Dovodni kanal TE-TO i RPV-a na piezometrima, dok 50% ostaje neobjašnjeno. Kod metode kros-korelacije zaključeno je kako je najveći RPV zabilježen unutar 1-7 dana nakon najveće zabilježene visine vodostaja na mjernoj postaji Dovodni kanal TE-TO.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. OPĆI PODACI

Zagrebački vodonosnik prostire se zapadnim dijelom Panonske nizine, na području grada Zagreba. Svojem položajem, rijeka Sava definira smjer pružanja (sjeverozapad – jugoistok) te dijeli vodonosnik svojim tokom na desno i lijevo zaobalje (Bačani i Posavec, 2014). Površina prostiranja vodonosnika je približno 350 km<sup>2</sup>, duljina je 30 km, a prosječna širina 10-15 km. Smješten je između Medvednice (sjever) i Vukomeričkih Gorica (jug). Za opskrbu pitkom vodom, oko 850000 stanovnika, koristi se podzemna voda, a dobiva se crpljenjem sa 6 aktivnih crpilišta; Sašnjak, Žitnjak i Petruševac na lijevoj strani zaobalja, dok su Mala Mlaka, Velika Gorica i Zapruđe s desne strane zaobalja (Slika 2.1) (Posavec, 2006).



Slika 2.1: Istraživano područje (preuzeto iz: Posavec, 2006)

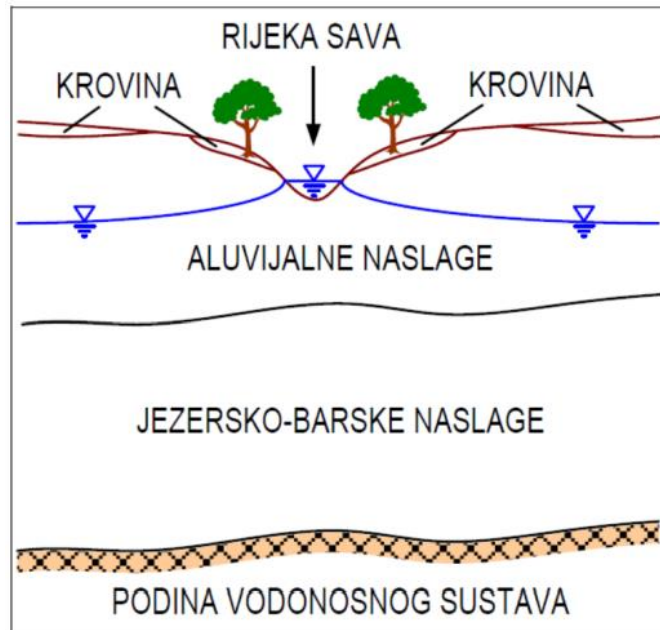
## 2.2. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

U geološkom pogledu, zagrebački vodonosni sustav predstavlja kvartarni sustav sedimenata. Područje je tijekom pleistocena (gornji i srednji), kada su se taložili sedimenti, bilo močvarno i jezersko, dok je okolno gorje (Marijagorička Brda, Medvednica te Žumberačko gorje) bilo podložno intenzivnoj denudaciji i eroziji. Potocima je nošen trošeni materijal koji je taložen u močvarama kao i u jezerima. Tektonska aktivnost je krajem pleistocena uvjetovala spuštanje terena (rubovi Medvednice, Samoborskog gorja te Vukomeričkih gorica). Usljed tog događaja stvara se Savska potlina (Velić i Saftić, 1991). Početkom holocena, različiti procesi (klimatski i tektonski) uzrokovali su prodoriranje rijeke Save, uslijed kojeg počinje transporta materijala nošen s teritorija Alpa (Velić i Durn, 1993). Česte tektonske aktivnosti i klimatske promjene dovele su do promjenjivog intenziteta tijekom transport materijala (Velić i Durn, 1993). Za vrijeme vlažnih i toplih razdoblja, transport je bio intenzivan, dok se njegov intenzitet u hladnijim i sušim razdobljima smanjivao. Anizotropija i heterogenost zagrebačkoga vodonosnika kao i neujednačena debljina naslaga posljedica su takvih uvjeta taloženja.

Vodonosnik je građen od tri litofacijesa (Posavec, 2006), a to su:

- 1) proluvijalni litofacijes
- 2) aluvijalni litofacijes
- 3) jezersko-barski litofacijes

Slika 2.2 prikazuje shematski profil zagrebačkog vodonosnika, kod kojeg se u krovini nalaze pijesci ili prahovite gline debljine približno 3 m (na nekim mjestima i manje), dok su u podini sivo – zelene i sivo – plave gline, promjenjive plastičnosti, u kojima se pojavljuju vapnene konkrecije, a moguće je i pojavljivanje treseta. Dominantno aluvijalne naslage pronalazimo u prvom vodonosnom sloju rijeke Save koji se sastoji od srednje do sitno zrnog šljunka i pijeska s prosljocima praha i gline, debljine 5-50 m (zapad-istok). Dominantno jezersko barske naslage pronalazimo u drugom vodonosnom sloju koji je sastavljen pretežito od šljunka i pijeska s lećama praha i gline, debljine 20-60 (zapad-istok) (Urumović i Mihelčić, 2000).



Slika 2.2: Shematski profil zagrebačkog vodonosnog sustava (preuzeto iz: Posavec, 2006)

### 2.3. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Zagrebački vodonosnik otvoreni je tip vodonosnika. Vodna ploha, koja je pod utjecajem atmosferskog tlaka, čini krovinu vodonosnika. Nepropusna granica (sjever), granice dotjecanja (jug i zapad) i granica otjecanja (istok) u hidrauličkom smislu predstavljaju rubne granice vodonosnog sustava. Regionalni smjer tečenja podzemne vode usporedan je s tokom rijeke Save odnosno od zapada prema istoku/jugoistoku. Sava pri pojavi visokih voda napaja vodonosnik cijelim područjem toka, a pri srednjim i niskim vodama ga drenira, ali samo na određenim dijelovima toka uslijed čega dolazi do pada RPV-a za vrijeme dugih sušnih razdoblja (Posavec, 2006).

Napajanje vodonosnog sustava ostvaruje se infiltracijom iz: oborina, rijeke Save, propusne kanalizacijske i vodoopskrbne mreže te dotjecanjem po zapadnoj (iz samoborskog gorja) i južnoj (područje Vukomeričkih Gorica) granici.

Glavni vodonosni sloj čine aluvijalne holocenske naslage u koje je Sava usječena svojim koritom. U naslagama su dominantno zastupljeni šljunci visoke hidrauličke vodljivosti, koja je na zapadnom dijelu vodonosnika vrlo visoka te prekoračuje 3000 m/dan, a opada prema istoku te blizu Črnkovca iznosi približno 2000 m/dan, a istočnije oko 1000 m/dan (Urumović i Mihelčić, 2000). Na području Črnkovca, transmisivnost vodonosnika postiže najveće vrijednosti (50000 m<sup>2</sup>/dan). Razlog tome je debljina vodonosnog sloja i visoke vrijednosti hidrauličke vodljivosti (Brkić i Biondić, 2000).

Od 1950. godine, na prostoru cijelog vodonosnika dolazi do opadanja RPV-a (u prosjeku 1-2 metra svakih 10 godina) koje traje do kraja osamdesetih godina. Izgradnjom praga TE-TO Zagreb na rijeci Savi trend opadanja je nakratko zaustavljen. Razlozi opadanja RPV-a bili su: gradnja nasipa zbog obrane od poplava, snižavanje korita Save (zbog izgradnje akumulacija uzvodno na rijeci, šljunčarenja iz korita Save te regulacije pritoka) te eksploatacija podzemne vode u svrhu vodoopskrbe.

Godine 1983. ukupna crpna količina na zagrebačkim crpilištima iznosila je približno 3300 l/s, 1993. približno 4000 l/s, a početkom 2000-tih godina približno 4700 l/s. Crpna količina se konstantno povećavala svakih 10 godina za približno 700 l/s. Uzrok tome su sve starije vodoopskrbne mreže, povećanje broja stanovnika i ubrzani razvoj grada (Posavec, 2006). Današnja ukupna crpna količina je na razini od oko 3500 l/s.

#### 2.4. PRAG TERMOELEKTRANA – TOPLANA (TE – TO) ZAGREB

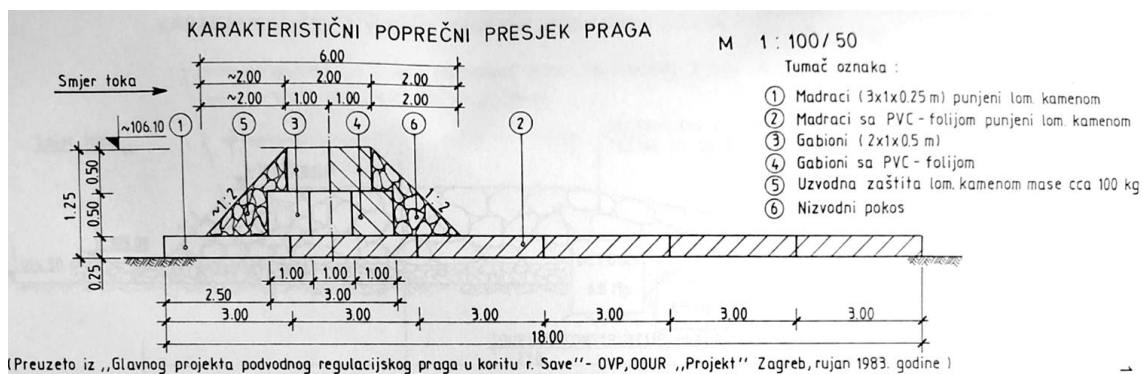
Termoelektrana-toplana Zagreb (TE-TO Zagreb) izgrađena je za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije. Smještena je na lijevoj strani obali Save, na lokaciji uzvodno od crpilišta Petruševac, u blizini visoke potrošnje energije (električne i toplinske). Prag koji je izgrađen za osiguravanje dostatnih količina vode iz Save za potrebe rashlađivanja postrojenja u osjetnoj mjeri utječe na RPV zagrebačkog vodonosnika ([hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/termoelektrane-toplane/te-to-zagreb/1565](http://hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/termoelektrane-toplane/te-to-zagreb/1565)).

Na području istraživanja, prosječni pad vodostaja u smjeru toka iznosi približno 0,4 m/km, a na dijelu od mjerne postaje "Dovodni kanal TE-TO" do mjerne postaje "TE-TO donja voda", koje su udaljene 620 m, pad vodostaja iznosi od 5 m do 8 m/km. Ova razlika vodostaja Save značajno utječe na RPV, jer pri maloj udaljenosti uzrokuje približno 20 puta veći prosječni pad vodostaja nego na drugim dijelovima toka (Posavec, 2006).

Prag TE-TO Zagreb regulacijski je zahvat koji je jedini uspio lokalno povećati vodostaj u području zahvata rashladne vode. Normalizacija vodnog režima umjetno je postignuta izvedbom praga na lokaciji nizvodno od TE-TO Zagreb, te se time uzvodno usporio postupak degradacije korita Save. Budući da se trend produbljenja korita, kao i hidrološki režim Save, neprestano mijenjaju, nije moguće prognozirati što će se dogoditi u budućnosti (Kuspilić i Gilja, 2016).

Sredinom 1962. godine u pogon je puštena TE-TO Zagreb s dva bloka zajedničke snage 33,2 MW. Na lijevoj obali Save, za osiguranje potrebne količine rashladne vode, izgrađen je TE – TO dovodni kanal. Novi blok, snage 120MW, izgrađen je 1979. godine te su u postojeću crpnu stanicu ugrađene nove crpke, zbog zahtijeva za većom količinom rashladne vode. Krajem 1981. javljaju se prvi problemi opskrbe rashladnom vodom TE–TO Zagreb. Sve učestalije postaju obustave rada postrojenja, zbog čestih pojava niskih voda. Rezultat toga je bila sanacija. Predloženo je nekoliko rješenja, ali kao najpovoljnije se pokazala izgradnja podvodnog praga za reguliranje (Biondić, 1995).

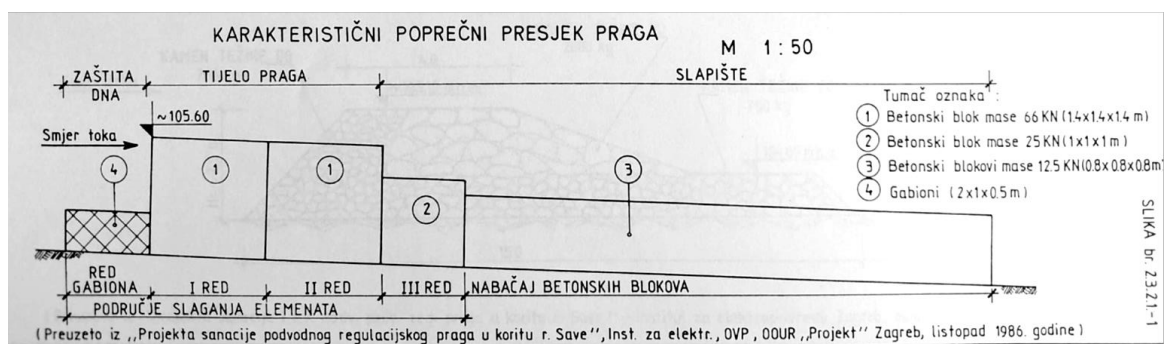
Prvi prag, građen od gabiona te ispunjen kamenom lomljenjakom, izgrađen je 87 m nizvodno od lokacije postojeće crpne stanice s kotom krune od 106,1 m n. m. (Slika 2.3).



15

Slika 2.3: Karakteristični poprečni presjek primarnog praga

Opskrba grada toplinskom energijom ponovno se ugrozila postupnim urušavanjem primarnog praga. 1986. godine pristupilo se gradnji novog praga, koji se trebao nalaziti uzvodno točnije 5,6 m od osi starog praga. Konstrukcija se sastojala od: tijela, uzvodne zaštite dna (gabioni), zaštite slapišta te obaloutvrda na desnoj i lijevoj obali (Slika 2.4).



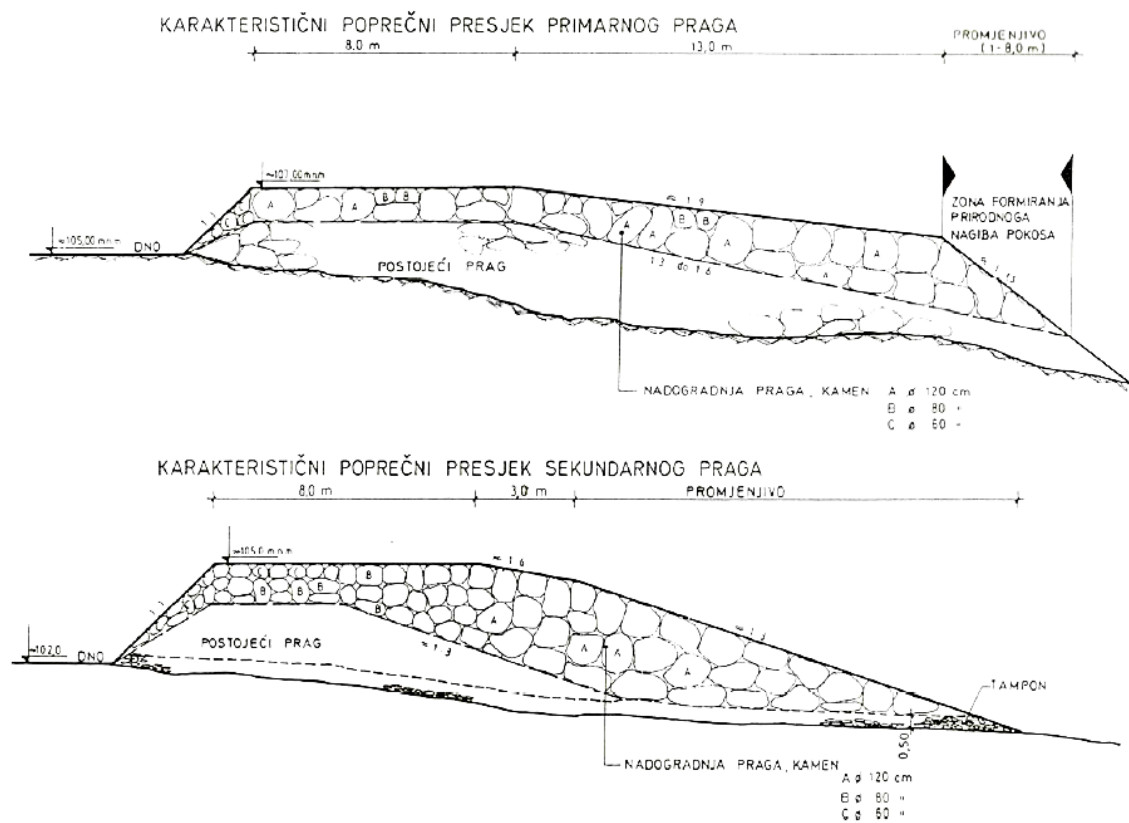
SLIKA br. 2.3.2.1-1

Slika 2.4: Karakteristični poprečni presjek sekundarnog praga

Do značajnijeg slijeganja krune dolazi tijekom eksploatacije sekundarnog praga koja dovodi do toga da ostvareni uspor nije mogao opskrbiti TE-TO Zagreb s dovoljno rashladne vode. Prag je 1989. godine morao biti ponovno saniran. Formiran je nasip kamenim blokovima do kote 106,75 m n. m. kako bi dobili povišenje krune primarnog praga (Biondić, 1995).



U periodu od 1989. do 1992. godine oba praga (sekundarni i primarni) su doživjela značajnije promjene, ali se opskrbljivanje TE-TO Zagreb rashladnom vodom nije ugrozilo. Ekstremno visoke vode pojavile su se krajem 1990. godine te su uzrokovale štete nizvodno od osi primarnog praga na desnoj strani obale. Do aktiviranja rukavca Save dolazi zbog povlačenja vode. Nadalje, dolazi do djelomičnog rušenja obaloutvrde na desnoj strani obale te sniženje kote nule primarnog praga za 80 cm. Erozija krune postala je veća od one prognozirane projektom. Krajem lipnja 1993. godine dovršena je nova sanacija . Poprečni presjeci obnovljenog sekundarnog i primarnog praga, te njihovo stanje prije nadogradnje prikazani su na slici (Slika 2.5). Hidrografsko snimanje poprečnih presjeka Save na lokaciji pragova izvedeno je nakon sanacije. Zabilježeno stanje, koje je određeno kao nulto stanje, biti će osnova kod budućeg monitoringa efekata praga (Biondić, 1995).



Slika 2.5: Poprečni presjeci nadograđenog primarnog i sekundarnog praga

Izgradnja praga TE-TO Zagreb i njegovo povišenje te stalne rekonstrukcije stvaraju promjenjivi hidrološki režim koji nije praćen odgovarajućim hidrološkim mjerenjima. Razlog tome su česte i nepravilne promjene uzrokovane stalnim sniženjem i povišenjem praga TE-TO. Na temelju toga možemo reći da je teško definirati pouzdanu bilancu voda u vodomjernom profilu Zagreb (Beraković, 2009).

### 3. METODE OBRADE PODATAKA

Oscilacije razina podzemne vode značajno ovise o svim ulazima i izlazima odnosno o rubnim uvjetima (vodostaj rijeka, potoka ili jezera, razina podzemne vode te istjecanje na izvorima) koji predstavljaju vremenske nizove podataka. Kako bi objasnili ovisnost te jačinu veze među promatranim varijablama koristimo statističke metode korelacije, regresije i kroskorelacije (Posavec i Škudar, 2016).

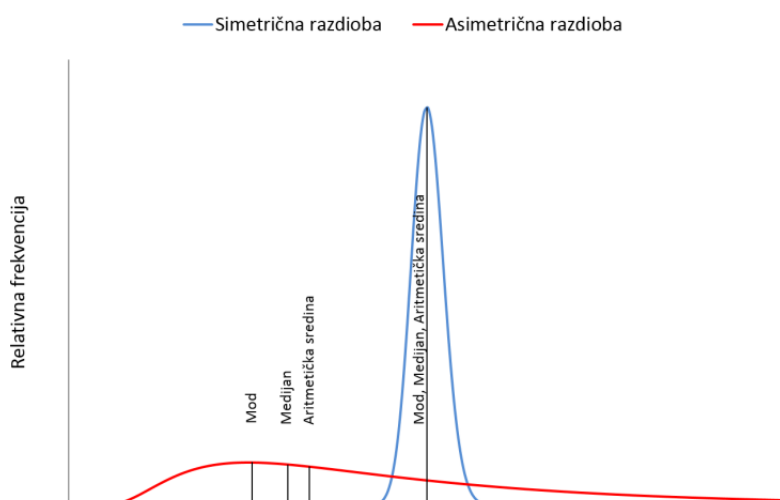
Određene statističke parametre kao što su aritmetička sredina, standardna devijacija, varijanca i kovarijanca te termine poput uzoraka i populacije potrebno je pojasniti kako bi definirali parametre kojima možemo opisivati pouzdanost navedenih statističkih metoda.

Populacija sadrži dobro definirani konačni ili beskonačni set elemenata, dok uzorak predstavlja podskup elemenata koji je uzet iz populacije (Davis, 2002).

Srednja vrijednost je jedna od najčešćih ocjena nekog uzorka ili seta populacije. Ona se u praksi definira na ove načine:

- mod - najčešće pojavljivana vrijednost,
- medijan - vrijednost od koje je jedna polovica podataka u setu manja, a druga veća
- aritmetička sredina - suma svih podataka podijeljena s njihovim ukupnim brojem.

Na slici (Slika 3.1) vidimo da kod simetričnih razdioba dolazi do podudaranja medijana, moda i aritmetičke sredine, što kod asimetrične razdiobe nije slučaj. Većina statističkih metoda uzima za pretpostavku da promatrani set podataka ima normalnu razdiobu (simetrična razdioba).



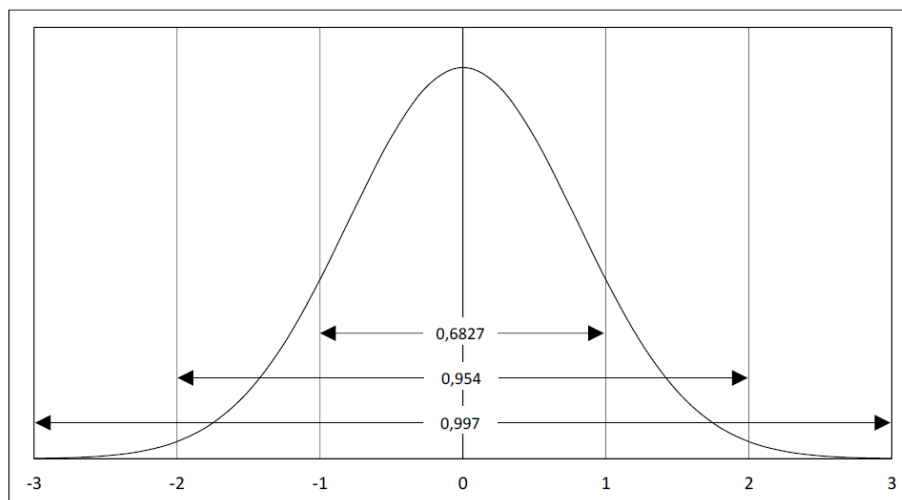
Slika 3.1: Simetrična i asimetrična razdioba s prikazom moda, medijana i aritmetičke sredine (preuzeto iz: Posavec i Škudar, 2016.)

Disperzija ili širenje oko aritmetičke sredine, također je jedna od najčešćih karakteristika uzorka ili populacije. Koriste se dvije vrijednosti pri ocjeni disperzije ili širenja oko aritmetičke sredine:

- varijanca - srednje kvadratno odstupanje svih podataka od aritmetičke sredine populacije
- standardna devijacija (korijen iz varijance) - širenje podataka oko aritmetičke sredine u odgovarajućim jedinicama mjerenih podataka.

Široko raspršeni podaci u blizini aritmetičke sredine nam ukazuju na velike iznose standardne devijacije, dok male vrijednosti upućuju na gusto grupirane podatke uz aritmetičku sredinu.

Površine ispod krivulje kod normalnih razdioba mogu se vrlo precizno izračunati te izraziti u vrijednostima standardnih devijacija od aritmetičke sredine (Slika 3.2).



Slika 3.2: Standardne devijacije normalne razdiobe (preuzeto iz: Posavec i Škudar, 2016.)

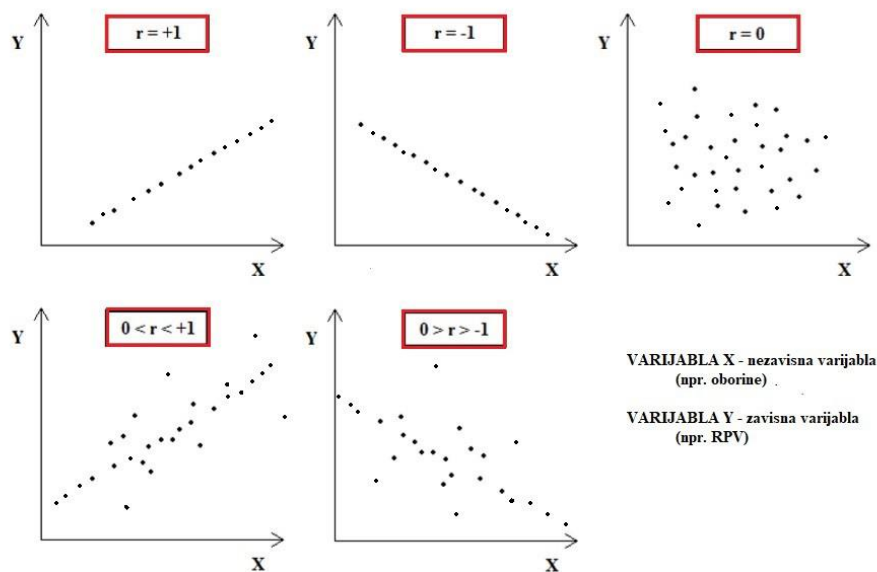
Uz navedene parametre (standardna devijacija, aritmetička sredina i varijanca) potrebno je objasniti i termin kovarijanca, koji predstavlja mjeru širenja ili disperzije dvije varijable oko njihove aritmetičke sredine (Posavec i Škudar, 2016).

### 3.1. KORELACIJA

Jačinu veze među vodonosnim sustavima i njihovim rubnim uvjetima možemo odrediti metodom korelacije, odnosno koeficijentom korelacije,  $r_{jk}$ , koji također izražava linearni odnos dvije varijable. Jačina te veze nam ukazuje na utjecaj i dominantnost pojedinog rubnog uvjeta (npr. oscilacije RPV-a u vodonosniku). Koeficijent korelacije možemo izraziti kao kovarijance dvije varijable,  $cov_{jk}$  podijeljenu umnoškom njihovih standardnih devijacija,  $s_j$  i  $s_k$  (Davis, 2002.):

$$r_{jk} = \frac{cov_{jk}}{s_j s_k} \quad (1)$$

Koeficijent korelacije,  $r_{jk}$ , bezdimenzionalna je jedinica raspona od -1 do +1. Vrijednosti  $r$  bliske -1 ukazuju na negativnu korelaciju. Općenito, negativne vrijednosti upućuju na odnos varijabli kod kojeg pri porastu vrijednosti jedne varijable ( $j$ ), vrijednost druge opada ( $k$ ). Vrijednosti  $r$  bliske +1 upućuju na pozitivnu korelaciju. Pri pozitivnoj korelaciji, porastom vrijednosti jedne varijable ( $j$ ) također raste i vrijednosti druge varijable ( $k$ ).



Slika 3.3: Dijagrami rasipanja za različite vrijednosti koeficijenta korelacije (preuzeto iz: Gulić, 2018.)

Ako je  $r=-1$  možemo reći da imamo savršenu negativnu vezu dviju varijabli, dok pri  $r=+1$  imamo savršenu pozitivnu vezu dviju varijabli. Vrijednosti  $r$  bliske su nuli, ako korelacije nema ili je vrlo slaba.

### 3.2. REGRESIJA

Metodom regresije ispitujemo funkcionalnu ovisnost određenog rubnog uvjeta i nekog događaja u sustavu, tj. promjene zavisne varijable koju promatramo (npr. RPV-a) i čije promjene možemo objasniti pomoću drugih nezavisnih varijabli (npr. vodostaj rijeke). Zavisne varijable možemo prognozirati u slučaju ako dobivenom funkcijom (jednadžba) možemo dobro opisati promjene zavisne varijable koja je u funkciji nezavisne varijable. Potrebno je biti upoznat sa lokacijama ili vremenima mjerenja.

Varijabla koju ispitujemo naziva se regresirana ili zavisna varijabla Y. Simbolom  $y_i$  označuju se pojedinačna mjerenja zavisnih varijabli. U procesu podešavanja linije, odstupanja  $y_i$  se minimiziraju. Regresor ili nezavisna varijabla označava se s X, a pojedinačna mjerenja s  $x_i$ . Funkcija podešene linije može se pisati kao:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \quad (2)$$

$\hat{y}_i$ - procijenjena vrijednost  $y_i$  za odnosnu vrijednost  $x_i$ ;

$b_0$ – odsječak na osi Y;

$b_1$ – koeficijent smjera pravca.

Potrebno je minimalizirati razliku među prognoziranim i izmjerenim vrijednostima zavisne varijable ( $\hat{y}_i - y_i$ ):

$$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 = \text{minimum} \quad (3)$$

Potrebno je odrediti koeficijent determinacije, kako bi se definirala mjera podešenosti linije, odnosno regresijskog modela (Davis, 2002.; Montgomery i Runger, 2003). Nadalje potrebno je odrediti dva termina: ukupnu sumu kvadrata ( $SS_T$ ) od Y:

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \quad (4)$$

gdje je:

$y_i$  – pojedinačna mjerenja zavisne varijable Y,

$\bar{Y}$  – aritmetička sredina pojedinačnih mjerenja zavisne varijable Y.

te sumu kvadrata zbog regresije (SSR):

$$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{Y})^2 \quad (5)$$

gdje je:

$\hat{y}_i$  – procijenjena vrijednost  $y_i$  za odnosnu vrijednost  $x_i$ ,

$\bar{Y}$  – aritmetička sredina pojedinačnih mjerenja zavisne varijable Y.

Mjera podešenosti linije definira se kao:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} \quad (6)$$

gdje je:

$R^2$  – koeficijent determinacije.

Vrijednosti  $R^2$  nalaze se u intervalu od 0 do 1. Ako linija dobro predstavlja izmjerene vrijednosti,  $R^2$  će biti približno 1. U suprotnom će biti blizak vrijednosti 0. Prema Posavec i Škudar (2016) ako je  $R^2=0,8$  možemo zaključiti da se 80% ukupnog odstupanja Y varijable od regresijskog modela može objasniti linearnim odnosom između varijabli X i Y, dok 20% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno. Koeficijent determinacije je numerički jednak koeficijentu korelacije ( $r=\sqrt{R^2}$ ) (Davis, 2002).

### 3.3. KROS-KORELACIJA

Brzinu interakcije, koja predstavlja važnu informaciju u interpretaciji vodonosnog sustava možemo odrediti metodom kros-korelacije. Njome se određuje stupanj povezanosti dva vremenska seta podataka, tj. želi se pokazati stupanj korelacije dvaju setova s obzirom na zaostajanje jedne varijable u odnosu na drugu. Primjenom metode dobivamo podatke o jačini veze dva promatrana vremenska niza te međusobni vremenski zaostatak (razmak među varijablama u trenutku maksimuma njihove usklađenosti) (Davis, 2002).

Za svaki vremenski korak računa se koeficijent kros-korelacije. Nadalje, dobiveni koeficijenti prikazu se grafički pomoću kros-korelograma. Na x os nanose se vremenski koraci, dok se na y os nanose koeficijenti kros-korelacije. Na kros-korelogramu zapažamo vremenski korak pri kojem je dobiven najveći koeficijent kros-korelacije kao i njegov iznos, koji predstavlja vrijeme zaostajanja reakcije pri maksimalnoj usklađenosti vremenskih serija (Škudar, 2016).

Mjerenja moraju biti određena pri istom vremenu, primjerice istog dana ako je učestalost mjerenja jedan dan. Poravnanje dva vremenska seta na isto odnosno početno vrijeme mjerenja predstavlja nulto zaostajanje. Usporedba se provodi za nulto zaostajanje te za svako iduće uzastopno zaostajanje (Posavec i dr., 2017.).

U slučaju kros-koreliranja identične vremenske serije, najveći koeficijent kros-korelacije biti će pri vremenskom koraku 0, a vrijednost koeficijenta smanjivati će se i u negativnom i u pozitivnom vremenskom koraku. Zamjena vremenskih serija rezultirati će istim podacima suprotnog smjera (Ratkaj, 2014).

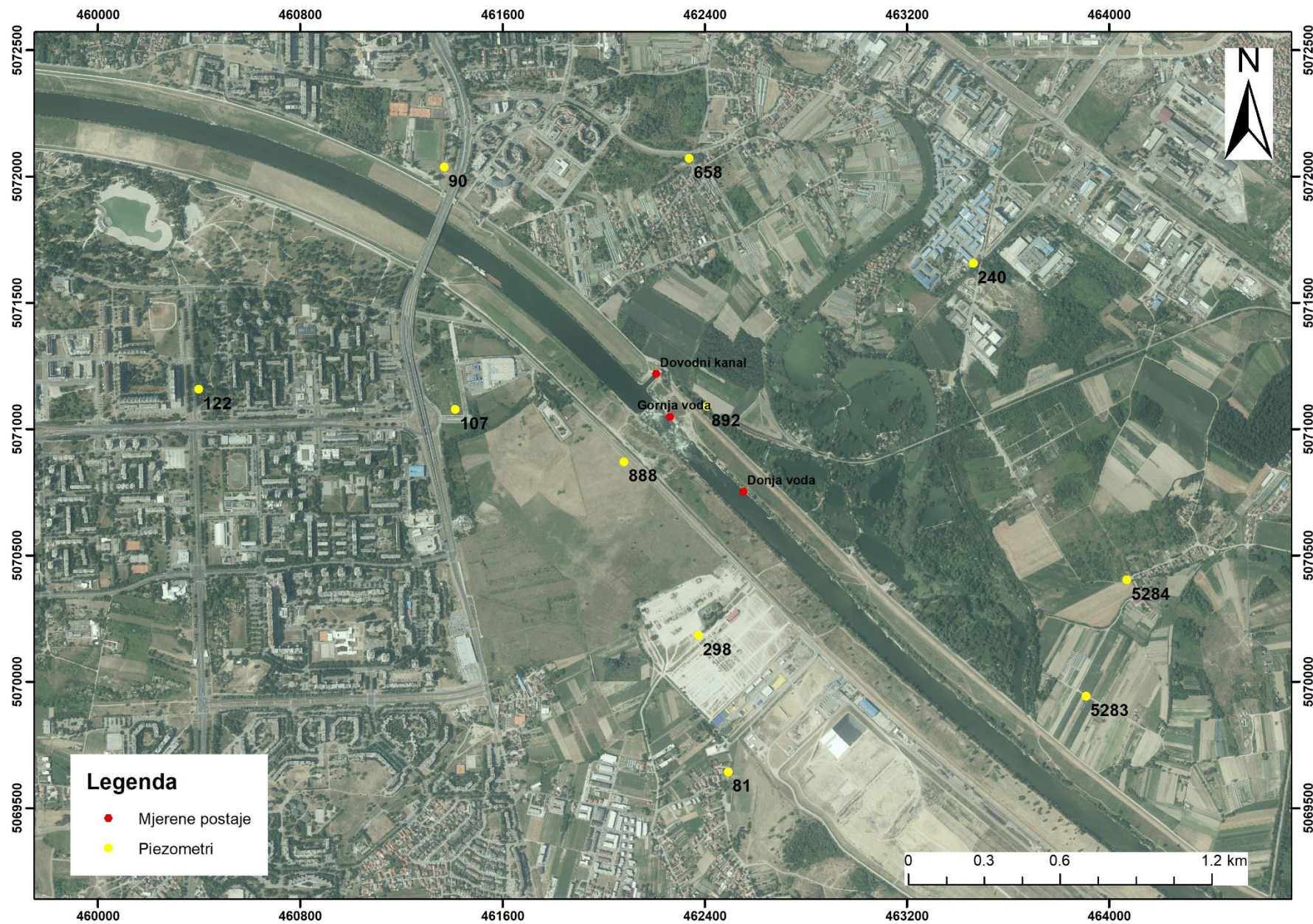
#### 4. MJERNE POSTAJE I KORIŠTENI PODACI

Na postajama Gornja voda, Donja voda i Dovodni kanal TE – TO mjerena je visina vodostaja rijeke Save. Korišteni su podaci od 3. siječnja 2019. do 31. prosinca 2020. godine. Mjerenja su izvršena od strane tvrtke Hidroing.

Uz visinu vodostaja korišteni su i podaci o RPV-u mjenom na 11 piezometara koje izvršava Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Na lijevoj obali Save nalaze se piezometri sa šiframa: 90, 240, 658, 892, 5283, 5284; a na desnoj obali Save se nalaze piezometri sa šiframa: 81, 107, 122, 298, 888 (Slika 4.1).

Nakon obrade podataka zaključeno je da su rezultati analiza Gornja voda, Donja voda i Dovodni kanal TE – TO gotovo identični, te će se u svrhu ovog diplomskog rada prikazati analize samo za mjernu postaju Dovodni kanal TE-TO.

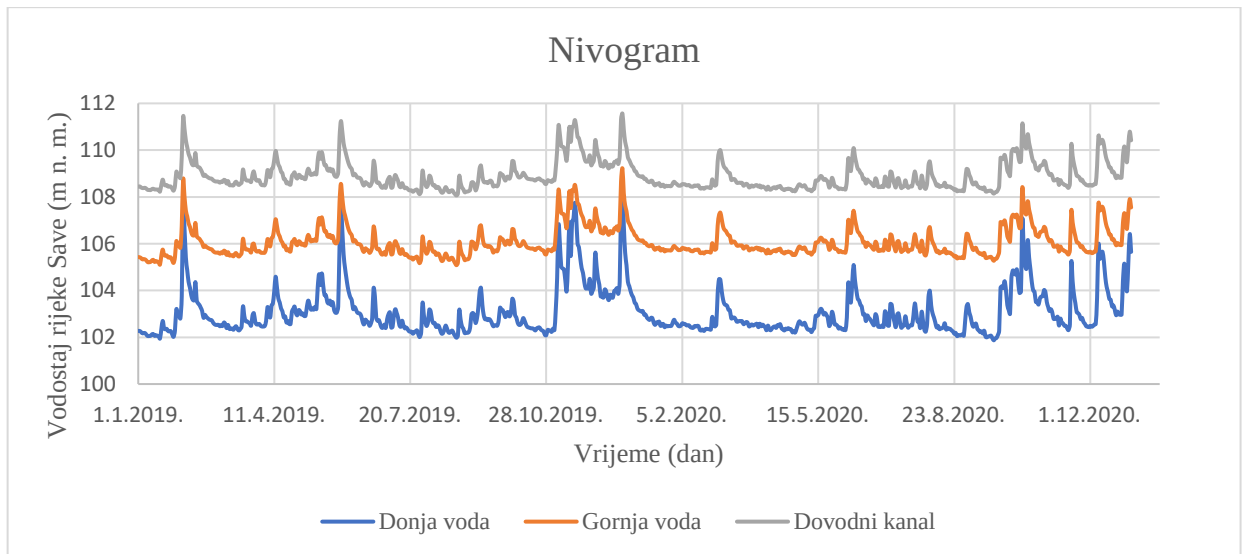




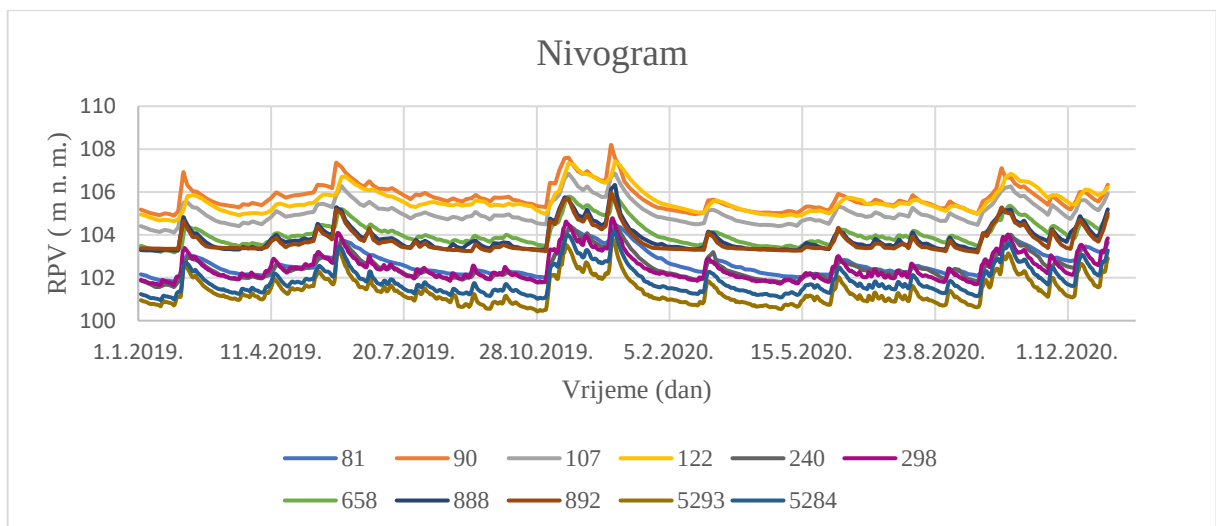
Slika 4.1: Prikaz lokacija mjerenih postaja i piezometara

Mjerenja RPV-a u svim piezometrima mjerena su u istom razdoblju kao i visina vodostaja rijeke Save, ali prosječno svaka 3 do 4 dana. Kako bi mogli izvršiti navedene statističke metode, vrijednosti RPV-a bilo je potrebno interpolirati. Za interpolaciju korištena je metodom linearne interpolacije te su dobivena dnevna mjerenja.

Na slikama (Slika 4.2 i Slika 4.3) vidimo prikaz dobivenih podataka pomoću nivograma za mjerne postaje rijeke Save i RPV-a u odabranim piezometrima.



Slika 4.2: Prikaz nivograma mjerenih postaja vodostaja rijeke Save



Slika 4.3: Prikaz nivograma piezometara

Alati programa Microsoft Excel korišteni su za statističku obradu podataka.

Koeficijent korelacije izračunat je iz niza podataka pomoću funkcije CORREL, koju koristimo za određivanje odnosa između dva svojstva.

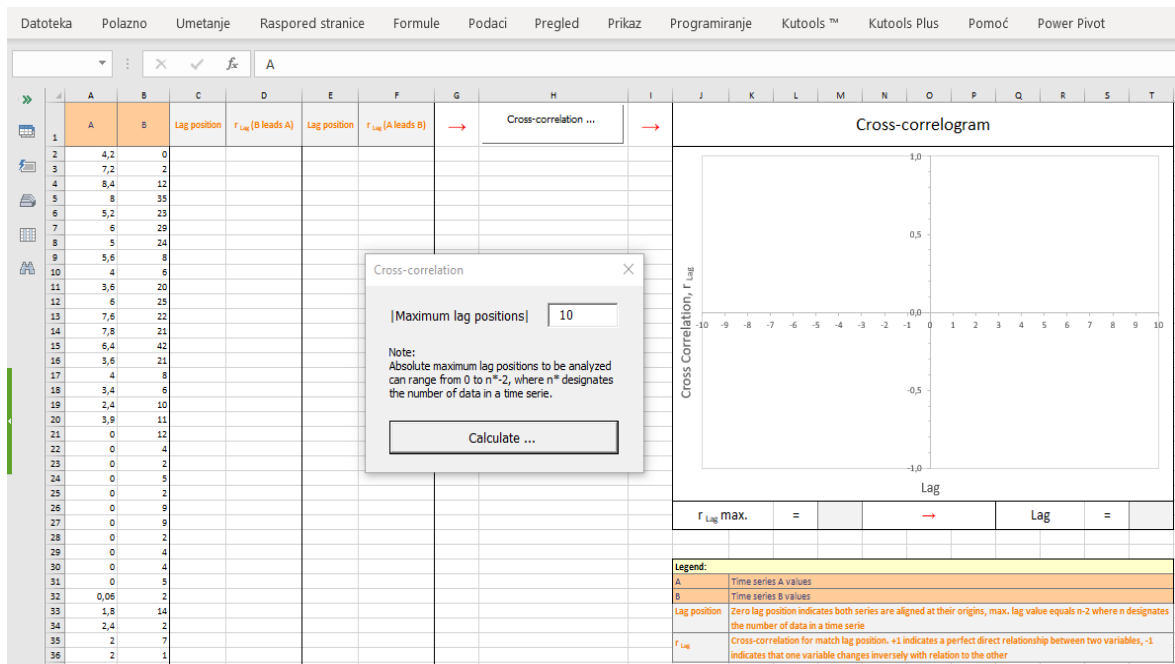
Regresijska analiza, kao i pripadajući graf dobiveni su uz pomoć softvera Microsoft Excel. Nezavisna varijabla (RPV) nalazila se na x osi, dok se zavisna varijabla (vodostaj rijeke

Save) nalazila na y osi. Dobiven je polinom II. stupnja koji najbolje opisuje vrijednosti. Upotrebom alata za analizu podataka dobiven je koeficijent determinacije  $R^2$ . Kao provjera ispravnosti ranije provedene funkcije CORREL korištena je naredba *Regression*, kod koje su zadavanjem zavisne i nezavisne varijable dobiveni  $R^2$  i  $r$  (Slika 4.4).

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0,665861553								
R Square	0,443371608								
Adjusted R Square	0,442583182								
Standard Error	0,452768202								
Observations	708								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	1	115,2813524	115,2813524	562,3506805	6,88341E-92				
Residual	706	144,7293257	0,204999045						
Total	707	260,0106781							
<i>Coefficients</i>									
	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>		
Intercept	60,89629889	1,75349755	34,72847676	6,832E-155	57,45360488	64,33899291	57,4536049	64,33899291	
X Variable 1	0,403469313	0,017014018	23,71393431	6,88341E-92	0,370065184	0,436873443	0,37006518	0,436873443	

Slika 4.4: Prikaz rezultata analize Regression

Metoda kros-korelacije provedena je uz pomoć VBA računalnog programa koji je izrađen namjenski za potrebe kros-korelacije (Posavec i dr., 2017). Sučelje je vrlo jednostavno i lako se koristi. Potrebno je raspolagati s dva vremenska seta podataka koji se upisuju u program (Slika 4.5). Metodu možemo primijeniti na velike nizove podataka, što je slučaj i u ovome radu.



Slika 4.5: Prikaz sučelja VBA programa za kros-korelaciju

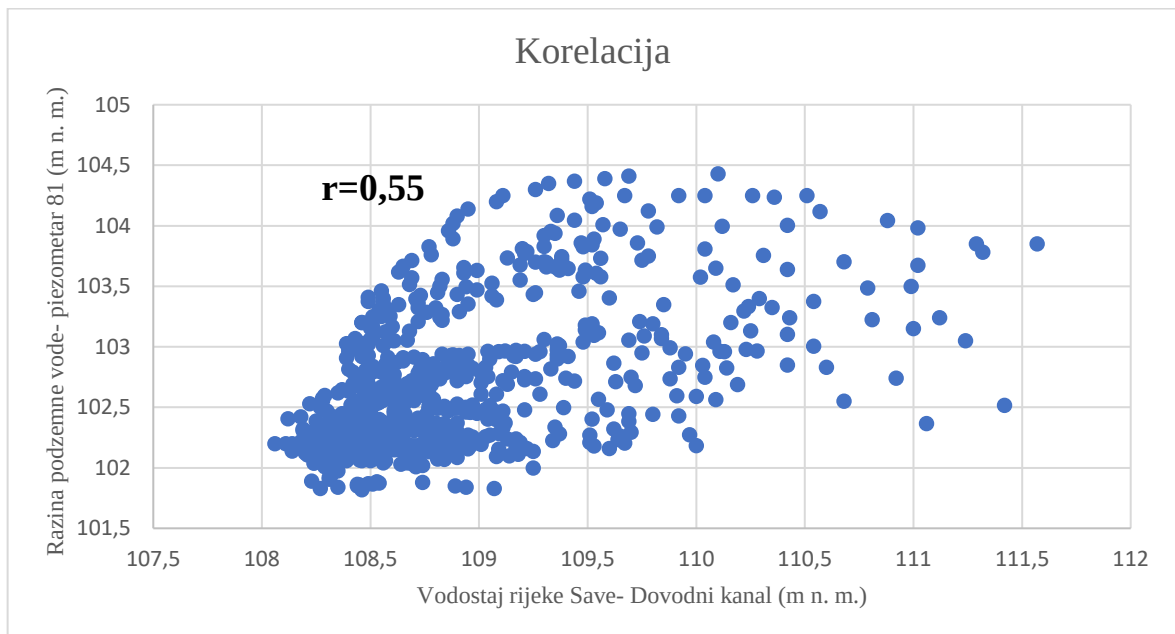
Program ArcMap, komponenta ESRI ArcGIS paketa geoprostornih programa za obradu, korišten je za izradu karata.

## 5. REZULTATI OBRADJE PODATAKA

### 5.1. KORELACIJA

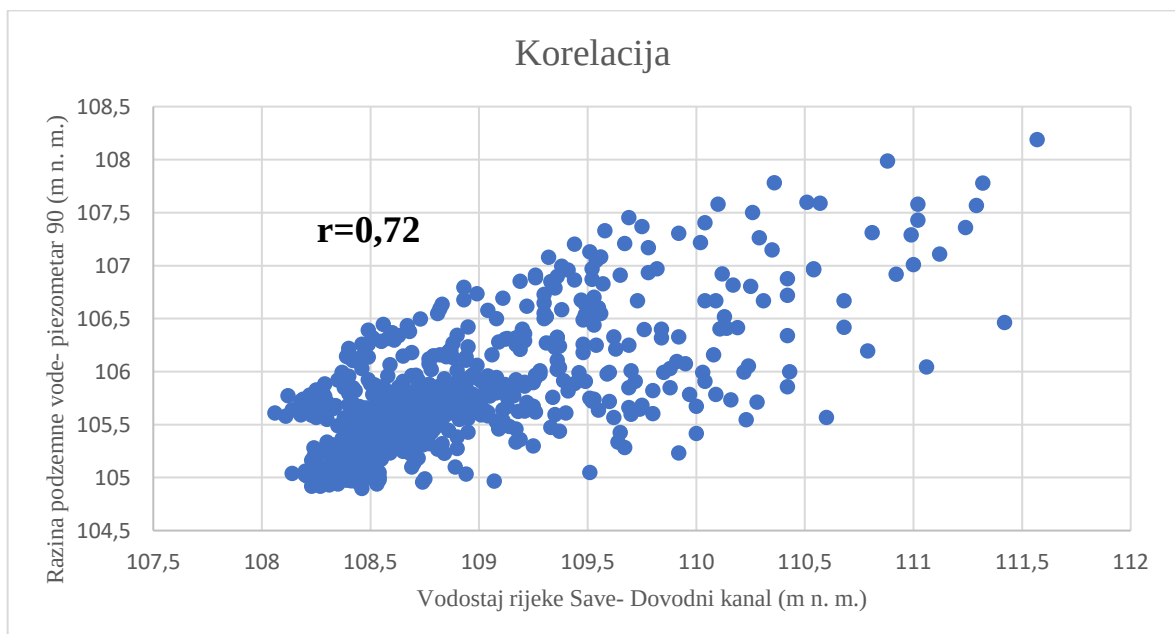
Metoda korelacije za cilj je imala utvrđivanje jakosti veze između vodostaja izmjerenog na mjernoj postaji Dovodni kanal TE-TO i RPV-a zabilježenog u piezometrima. Prema Posavec i Škudar (2016) općenito na jaku korelaciju ukazuju koeficijenti korelacije veći od 0,8, dok na slabu upućuju koeficijenti manji od 0,5 . Rezultati svih kombinacija korelacija imaju pozitivan smjer, što znači da porastom vodostaja rijeke Save raste RPV u piezometrima.

Slika 5.1 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save na mjernoj postaji Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 81 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,55. On nam ukazuje na slabu korelaciju.



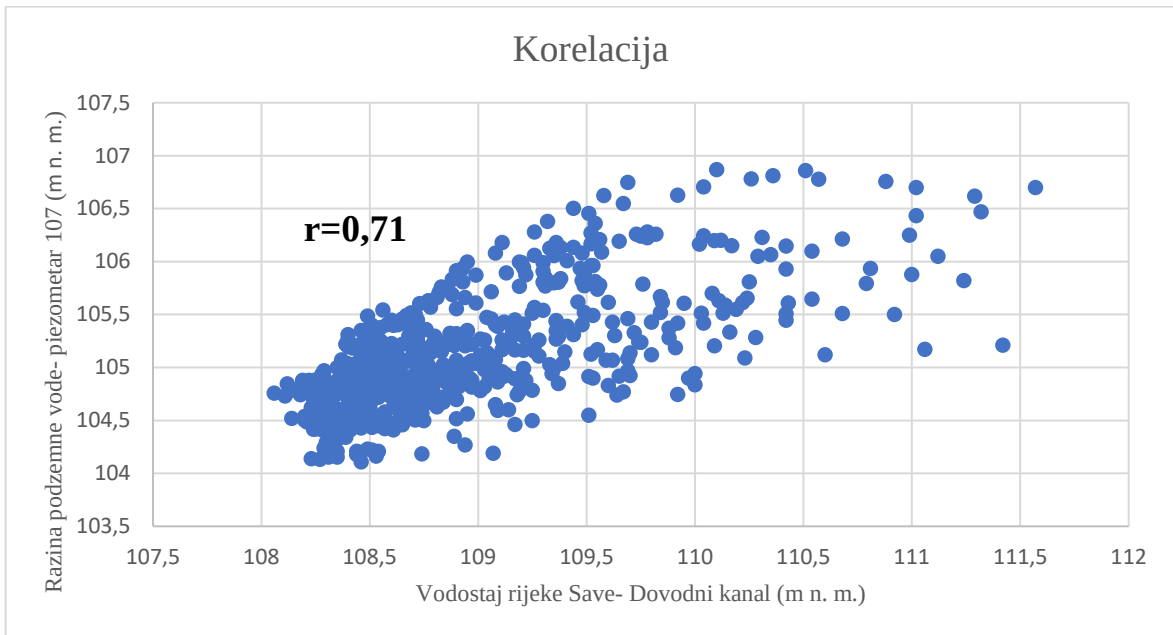
Slika 5.1: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 81 s koeficijentom korelacije

Slika 5.2 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 90 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,72. On nam ukazuje na srednje jaku korelaciju.



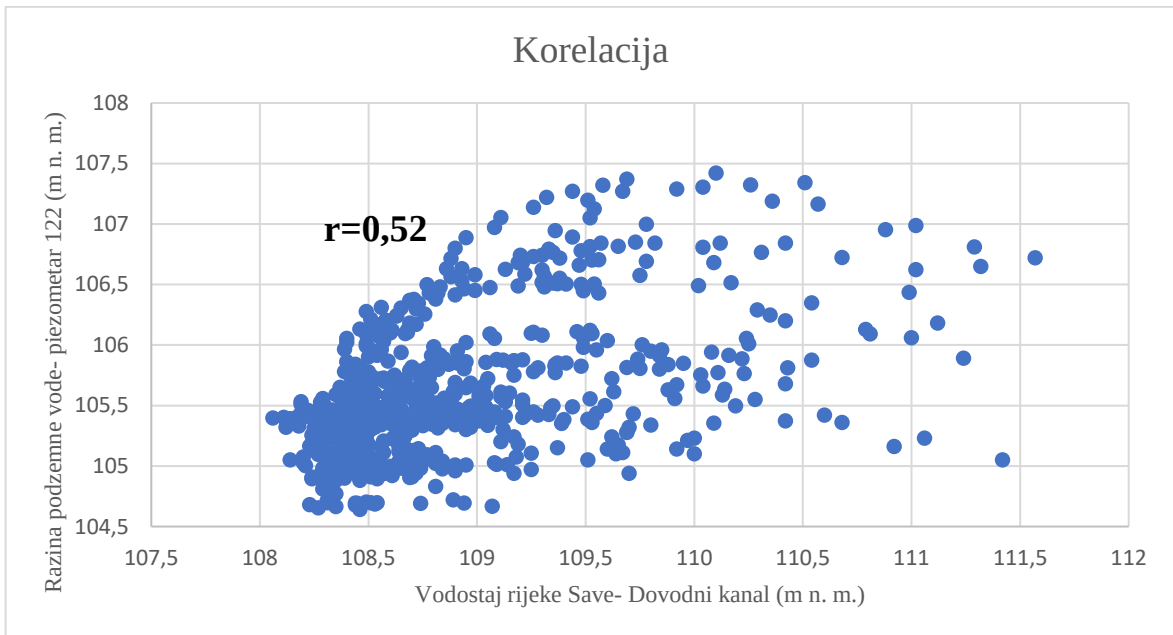
Slika 5.2: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 90 s koeficijentom korelacije

Slika 5.3 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenjenog na piezometru 107 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,71. On nam također ukazuje na srednje jaku korelaciju.



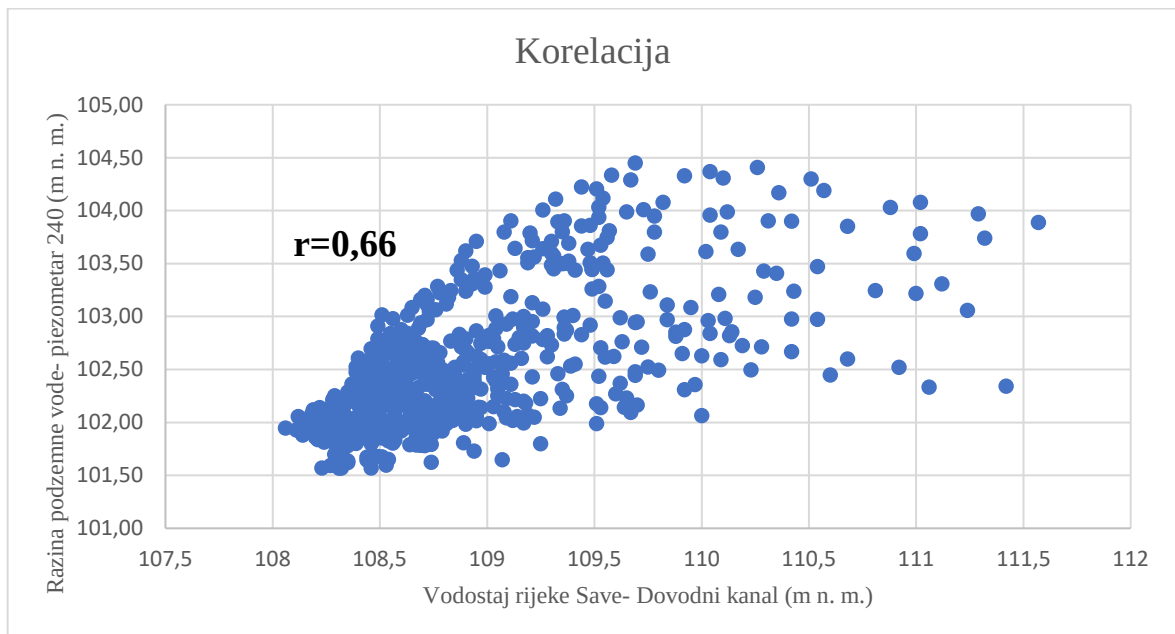
Slika 5.3: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 107 s koeficijentom korelacije

Slika 5.4 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenjenog na piezometru 122 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,52. On nam ukazuje na slabu korelaciju.



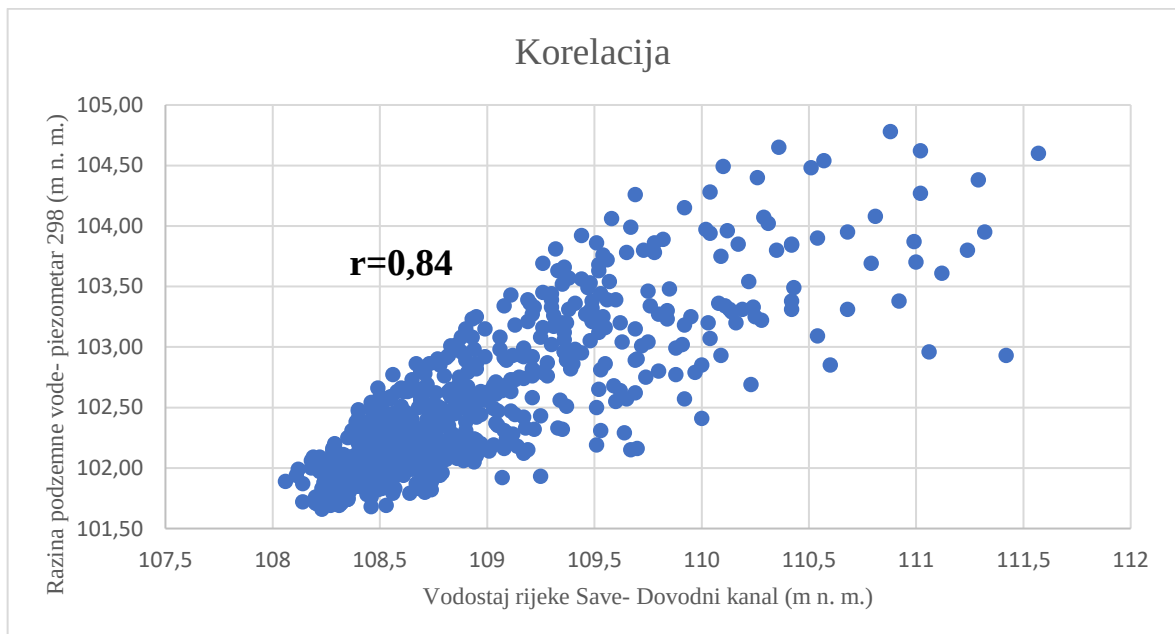
Slika 5.4: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 122 s koeficijentom korelacije

Slika 5.5 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenog na piezometru 240 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,66. On nam ukazuje na srednje jaku korelaciju.



Slika 5.5: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 240 s koeficijentom korelacije

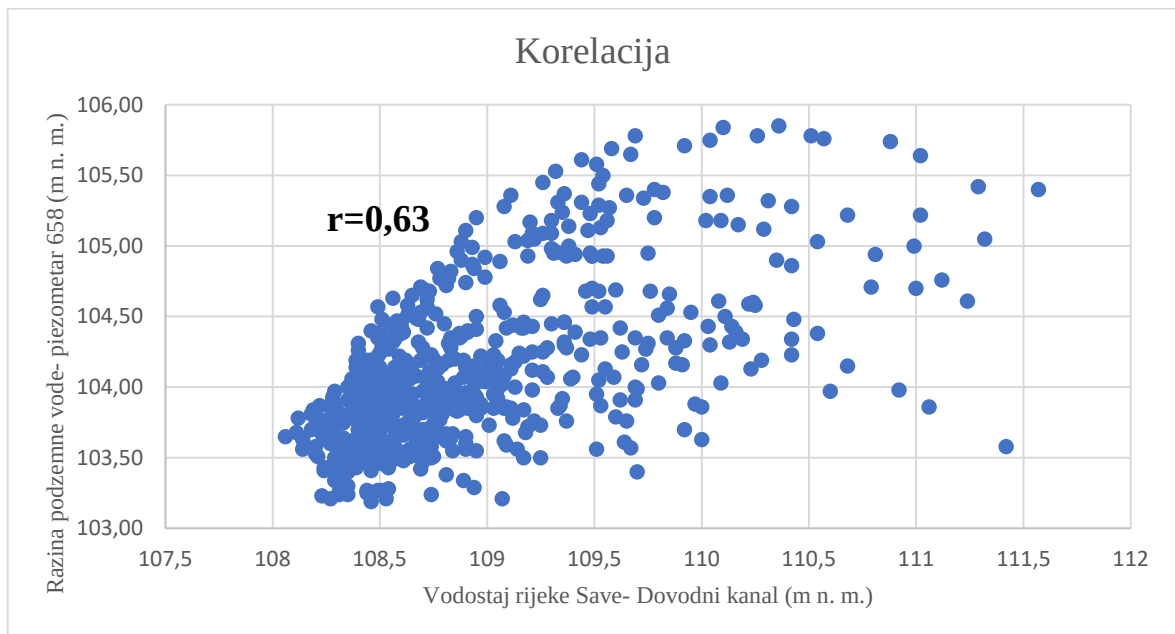
Slika 5.6 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenog na piezometru 298 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,84. On nam ukazuje na jaku korelaciju.



Slika 5.6: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 298 s koeficijentom korelacije

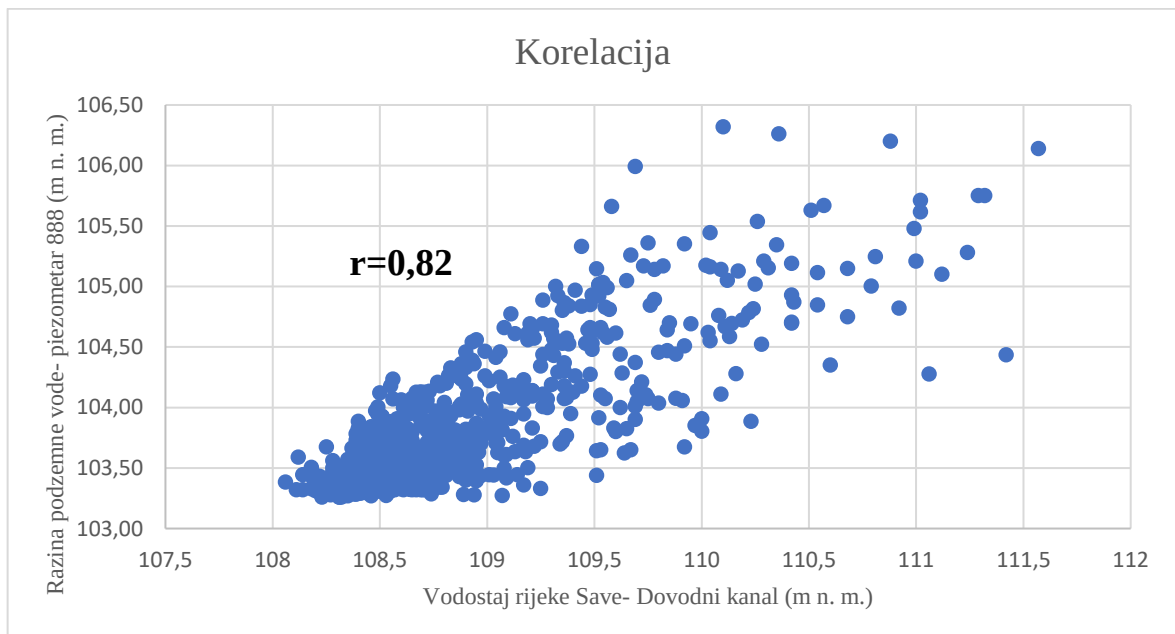


Slika 5.7 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenog na piezometru 658 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,63. On nam ukazuje na srednje jaku korelaciju.



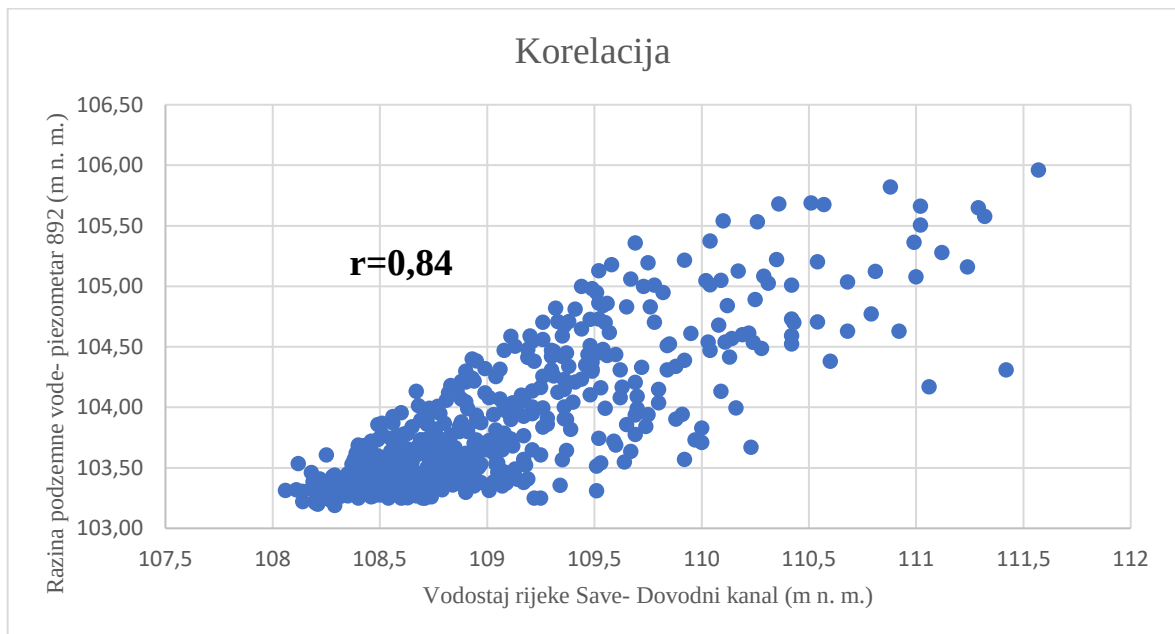
Slika 5.7: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 658 s koeficijentom korelacije

Slika 5.8 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenog na piezometru 888 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,82. On nam ukazuje na jaku korelaciju.



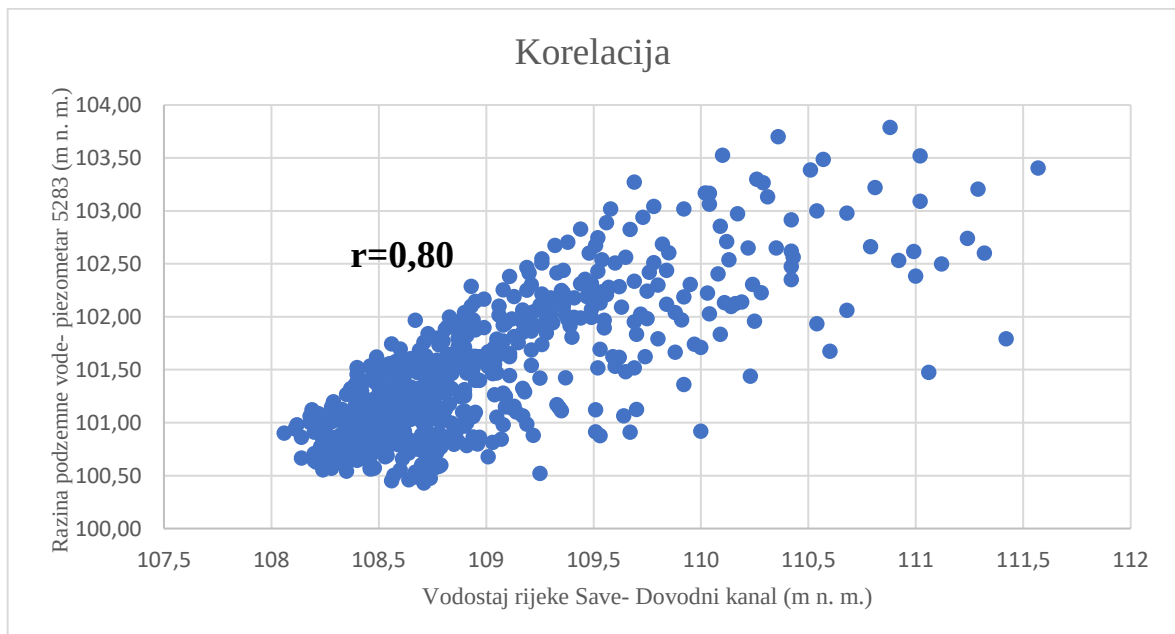
Slika 5.8: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 888 s koeficijentom korelacije

Slika 5.9 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenenog na piezometru 892 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,84. On nam ukazuje na jaku korelaciju.



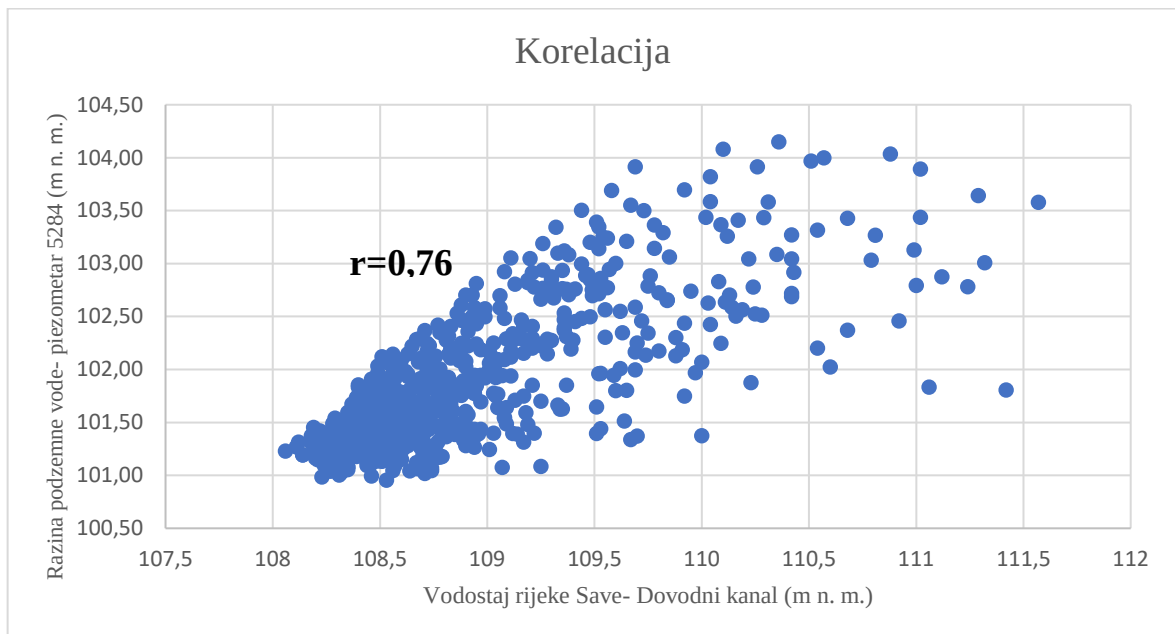
Slika 5.9: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 892 s koeficijentom korelacije

Slika 5.10 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenenog na piezometru 5283 uz dobiveni  $r$  koji iznosi 0,80. On nam ukazuje na jaku korelaciju.



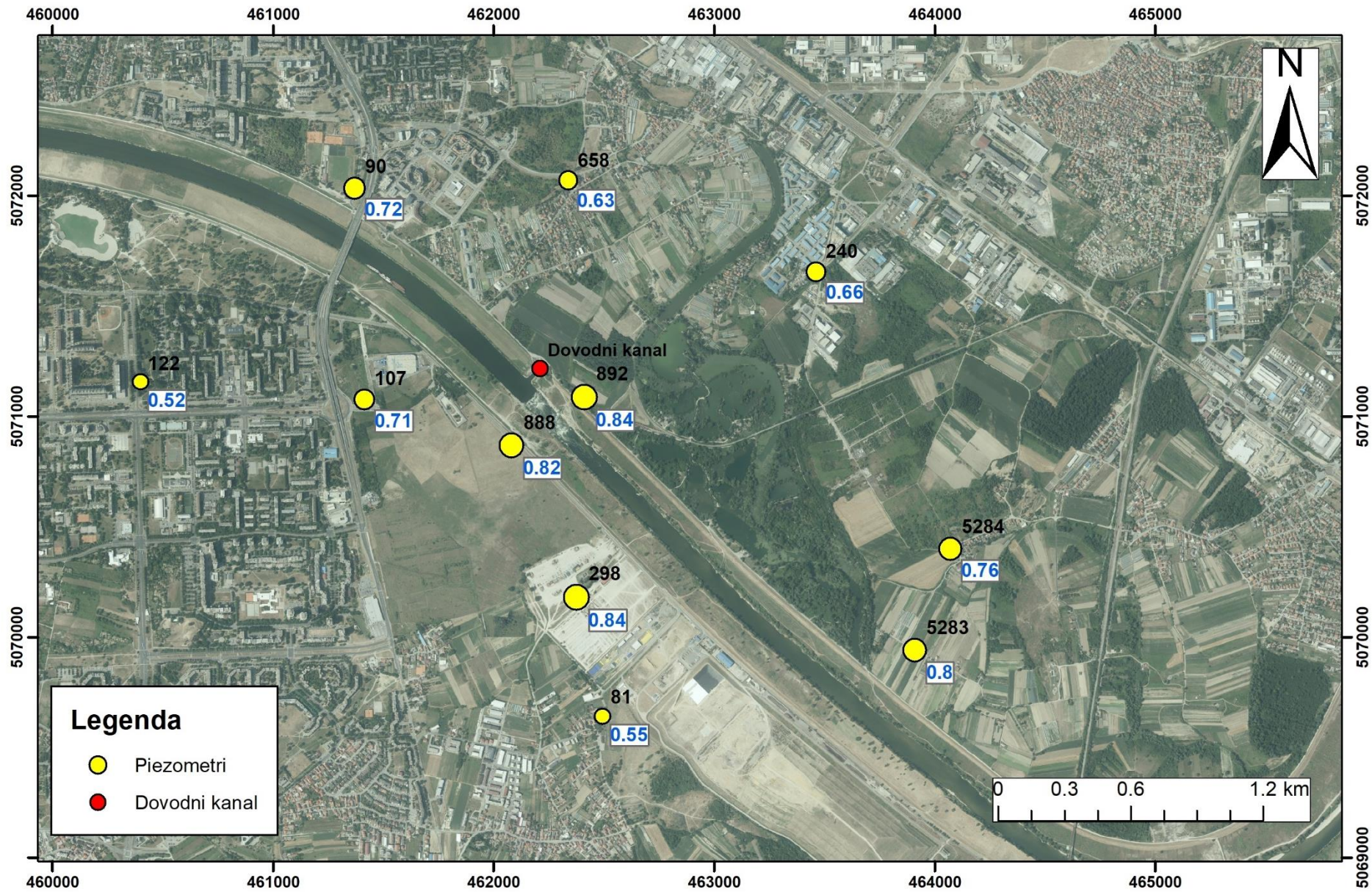
Slika 5.10: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 5283 s koeficijentom korelacije

Slika 5.11 prikazuje graf s rezultatima korelacije vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenog na piezometru 5284 uz dobiveni r koji iznosi 0,76. On nam ukazuje na srednje jaku korelaciju.



Slika 5.11: Prikaz rezultata korelacije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV piezometra 5284 s koeficijentom korelacije

Vrijednosti svih dobivenih koeficijenata korelacije, zajedno sa oznakom piezometra, možemo vidjeti na slici (Slika 5.12) gdje je veća vrijednost koeficijenta korelacije prikazana većim simbolom.



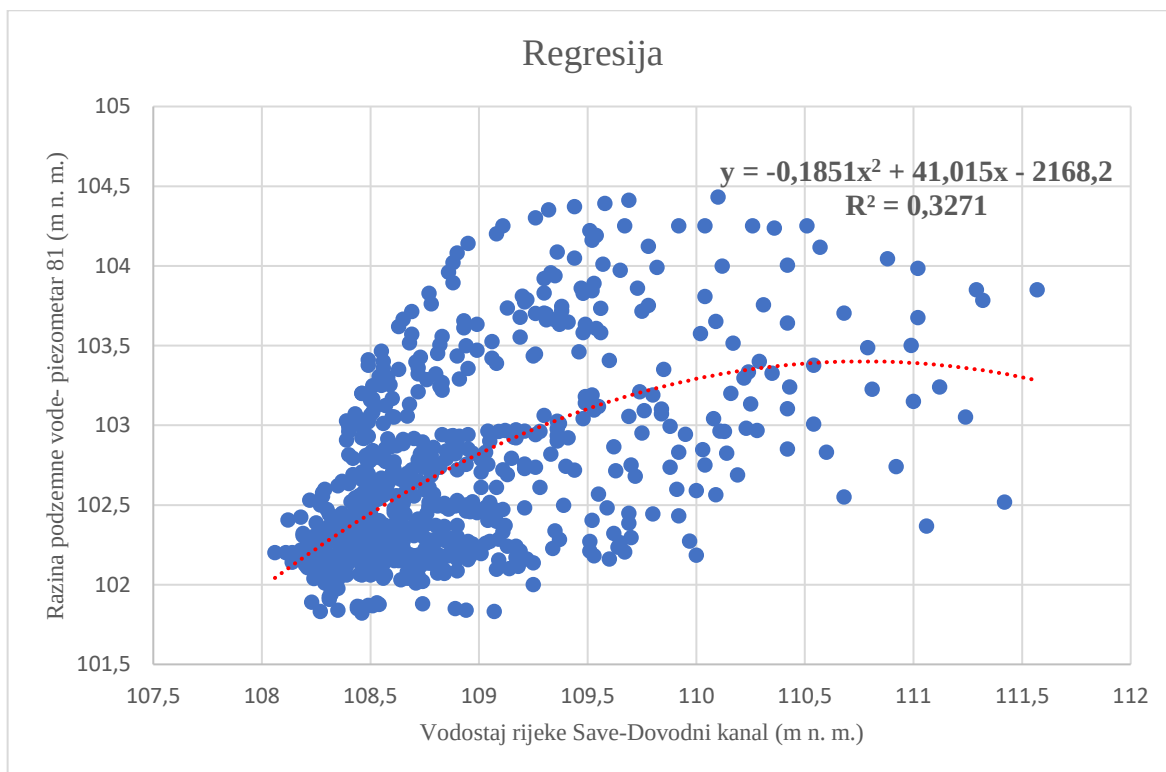
Slika 5.12: Prikaz piezometara sa pripadajućim koeficijentima korelacije (naziv piezometra označen je crnom bojom, a koeficijent korelacije plavom bojom)

## 5.2. POLINOMNA REGRESIJA

Metodom polinomne regresije analizirani su podaci o visini vodostaja Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometrima. Nezavisnu varijablu (visina vodostaja Dovodni kanal TE-TO) nanosimo na X os, dok zavisnu varijablu (RPV) nanosimo na Y os. Točke su opisane polinomom II. stupnja u koordinatnom sustavu i njemu pripadajućom jednačbom. Pomoću jednačbe regresije prognozirati RPV u piezometrima, ako znamo visinu vodostaja rijeke Save na mjernim postajama. Dobiveni  $R^2$  ukazuje na pouzdanost prognoziranja izračunom iz jednačbe polinoma II. stupnja.

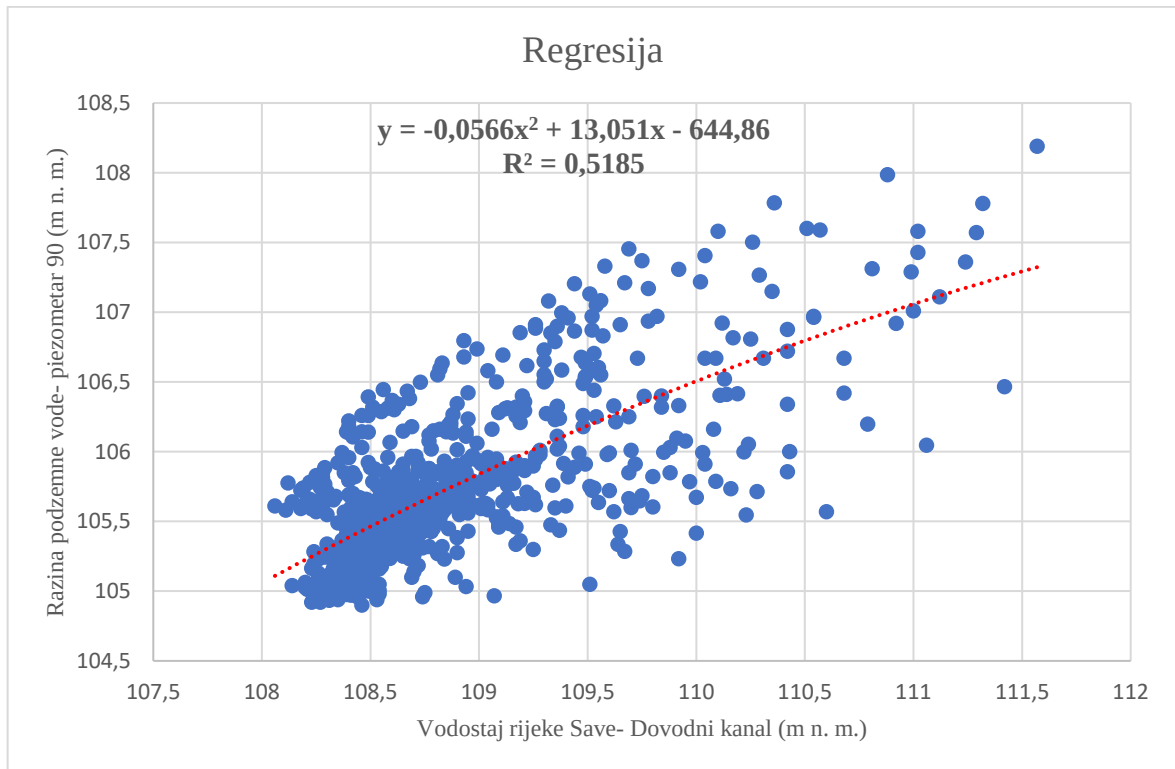
Obrade rezultata regresije bit će prikazane prema Posavec i Škudar (2016) koji u ranijem tekstu daju primjer opisa rezultata na temelju koeficijenta determinacije.

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 81 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.13) s jednačbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaja rijeke Save i RPV-a u piezometru 81 može objasniti 32,71 % ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 81 od regresijskog modela, dok 67,29% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



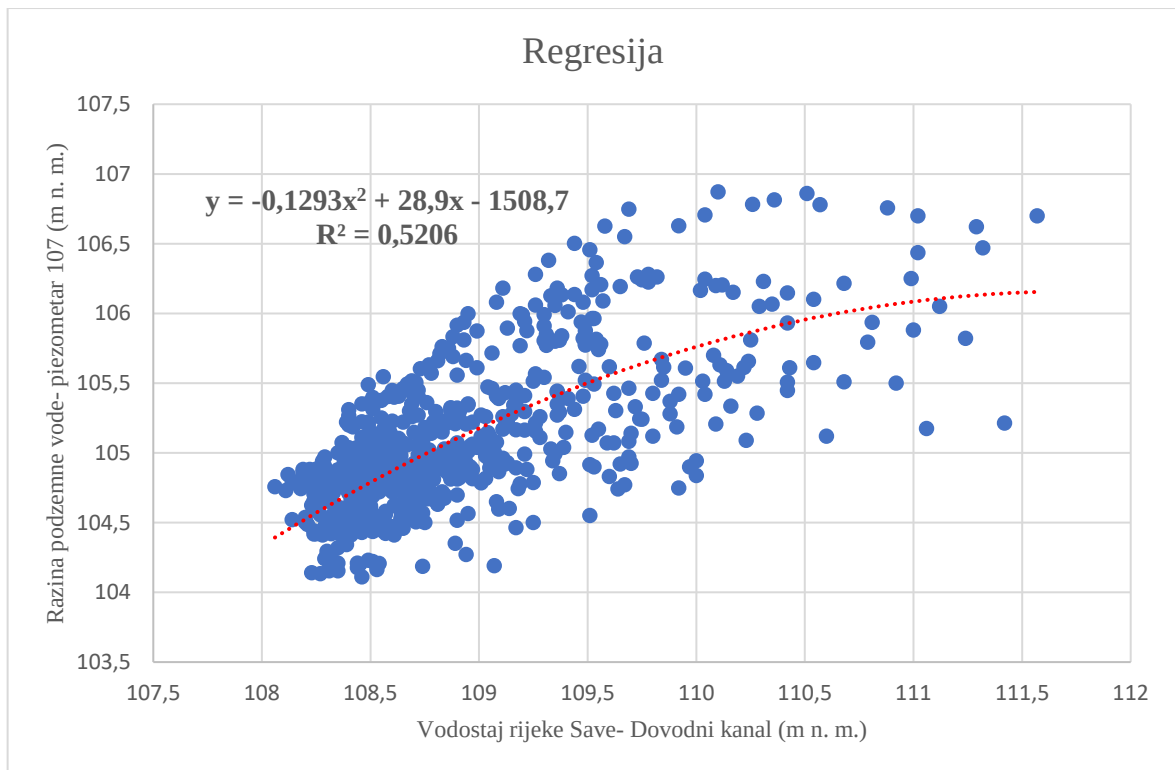
Slika 5.13: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 81 s jednačbom polinoma II. Stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 90 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.14) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 90 može objasniti 51,85% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 90 od regresijskog modela, dok 48,15% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



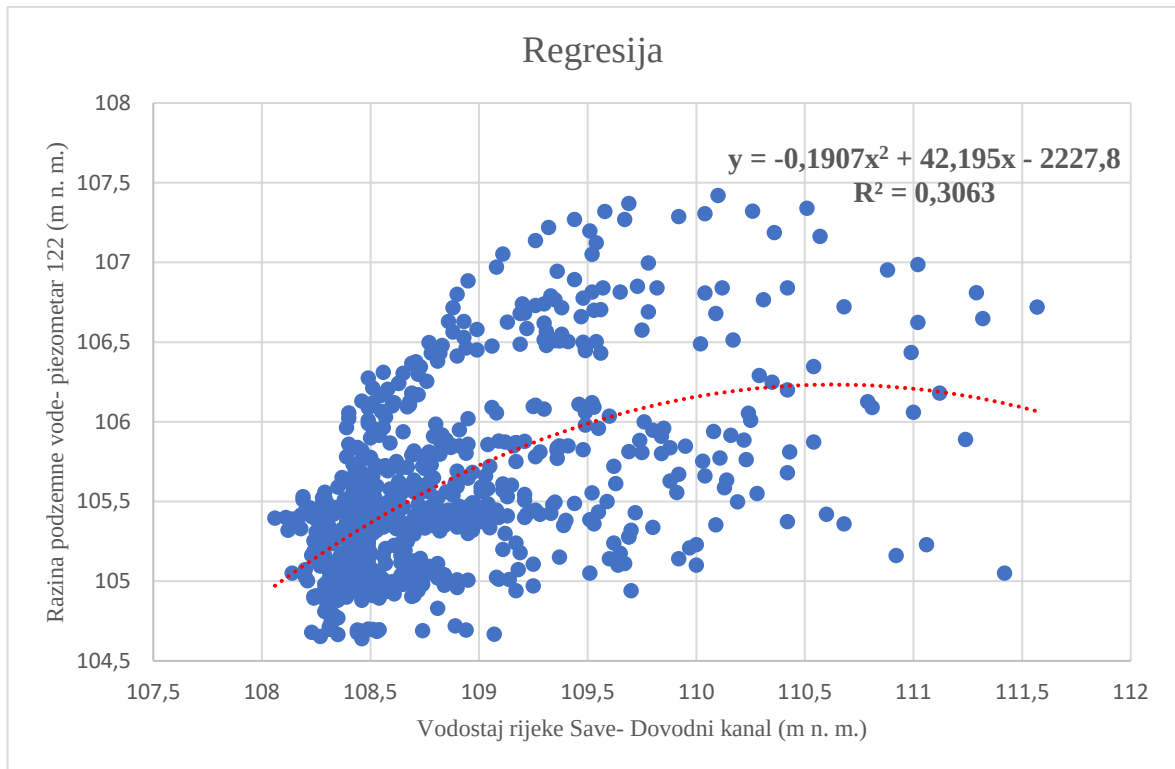
Slika 5.14: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 90 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 107 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.15) Slika 5.14 s jednađbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 107 može objasniti 52,06 % ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 107 od regresijskog modela, dok 47,94% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



Slika 5.15: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 107 s jednađbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

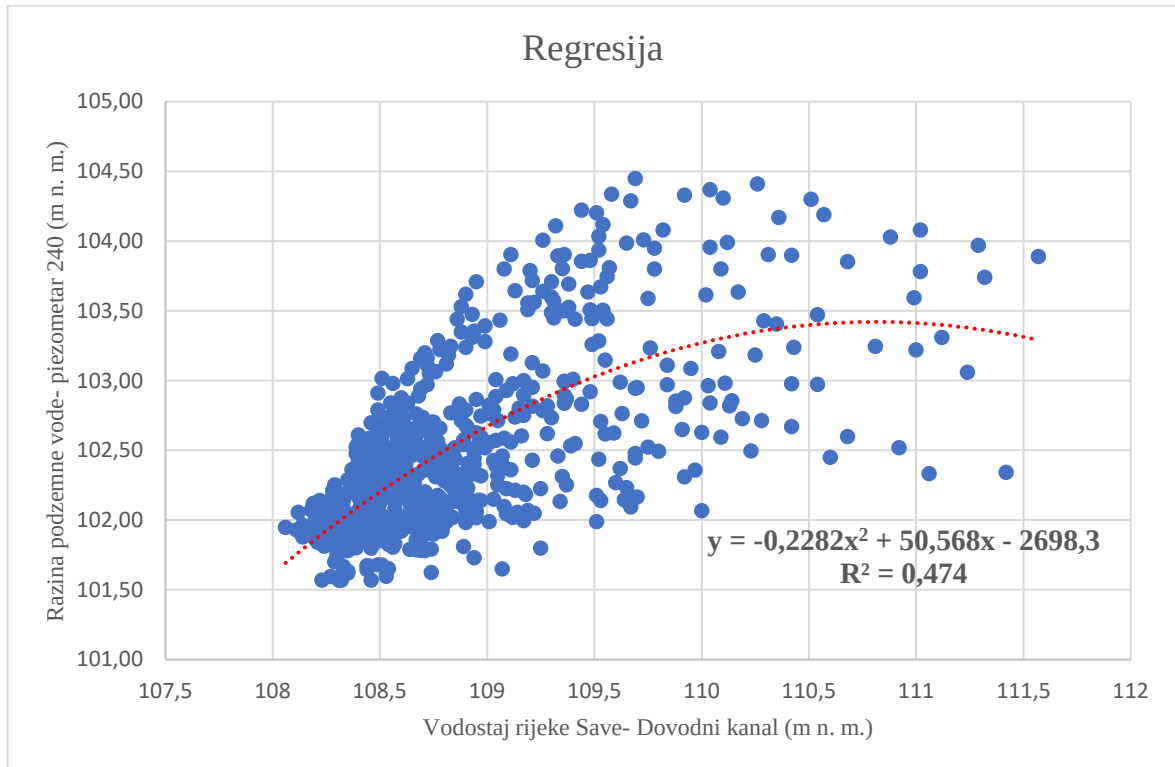
Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 122 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.16) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 122 može objasniti 30,63% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 122 od regresijskog modela, dok 69,37% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



Slika 5.16: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 122 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

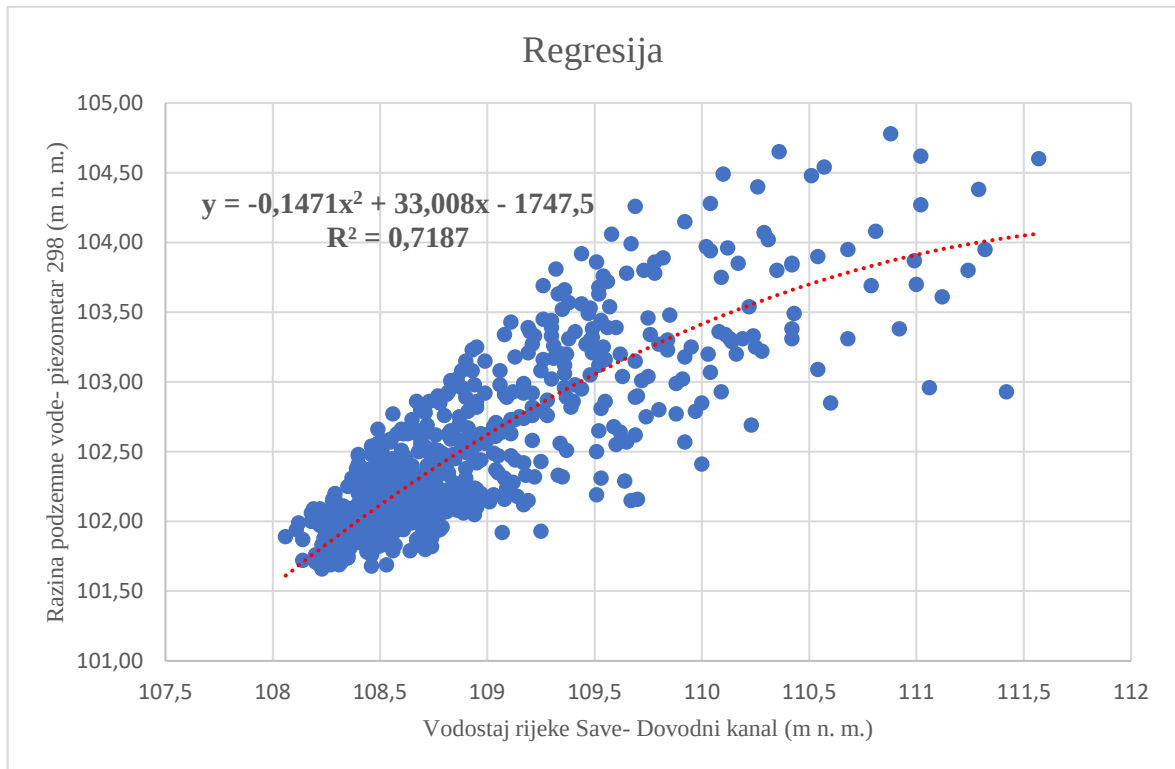


Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 240 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.17) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 240 može objasniti 47,4% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 240 od regresijskog modela, dok 52,6% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



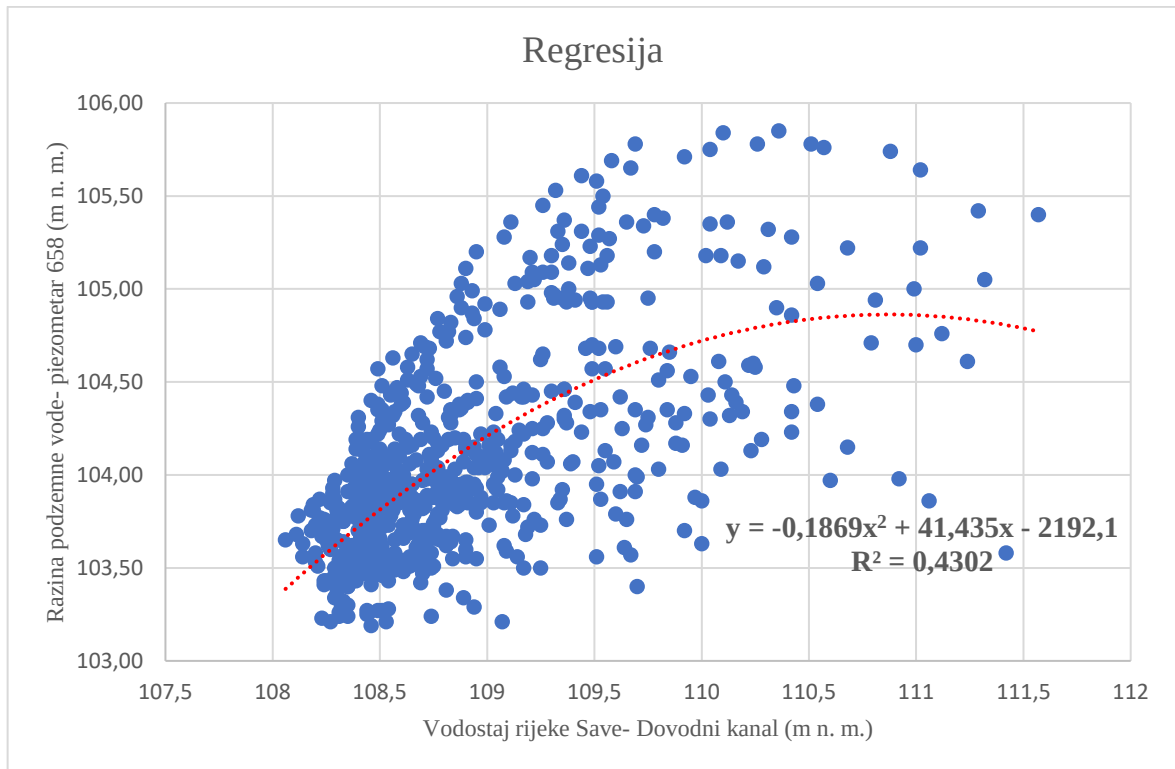
Slika 5.17: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 240 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 298 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.18) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 298 može objasniti 71,87% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 298 od regresijskog modela, dok 28,13% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



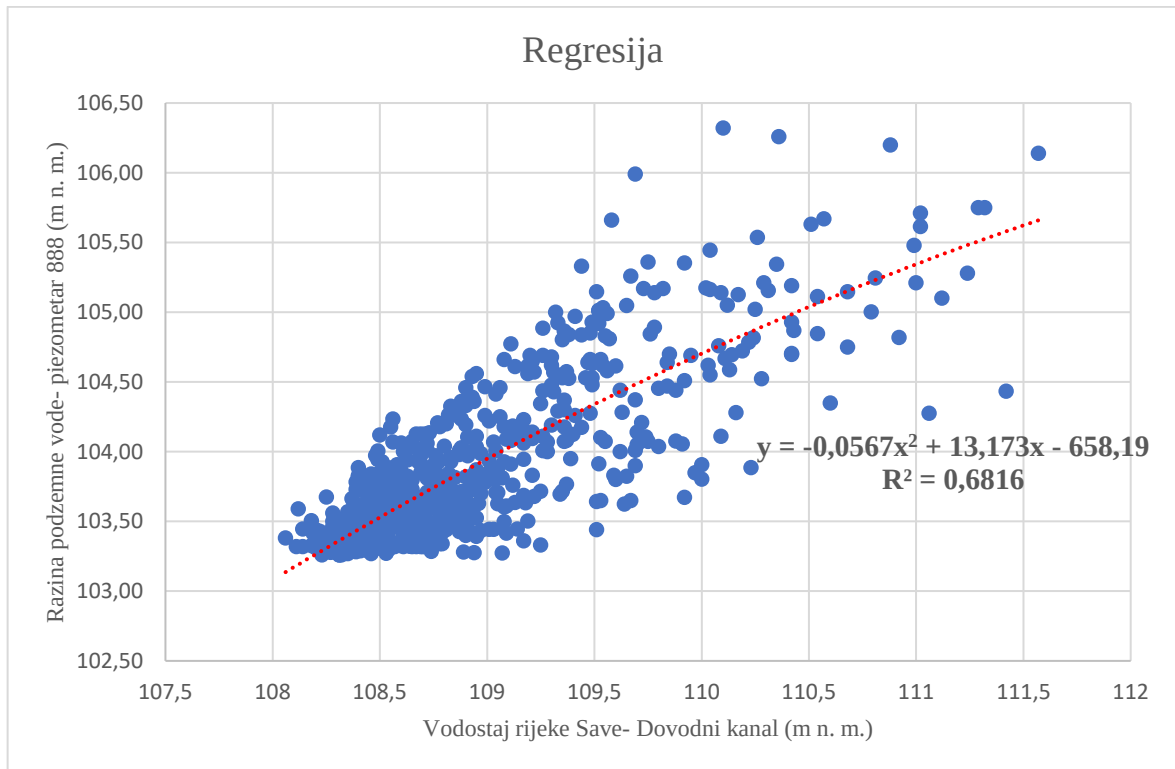
Slika 5.18: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 298 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 658 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.19) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 658 može objasniti 43,02% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 658 od regresijskog modela, dok 56,98% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



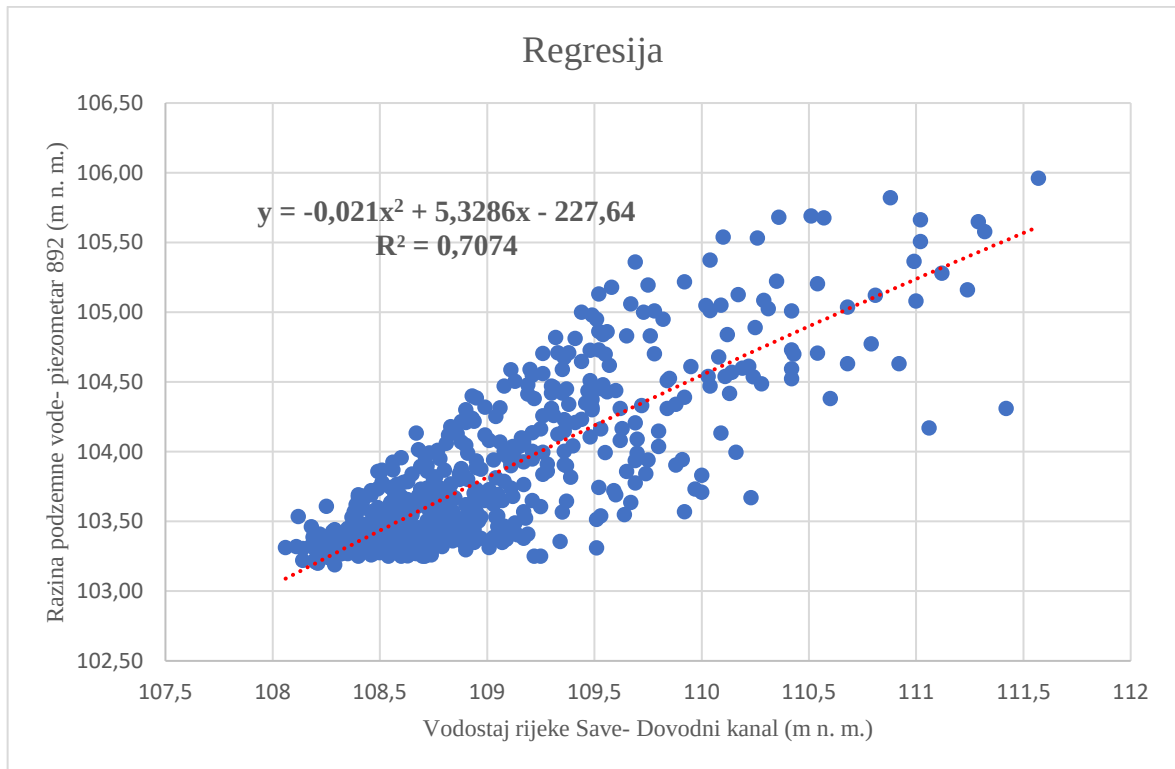
Slika 5.19: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 658 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 888 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.20) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 888 može objasniti 68,16% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 888 od regresijskog modela, dok 31,84% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



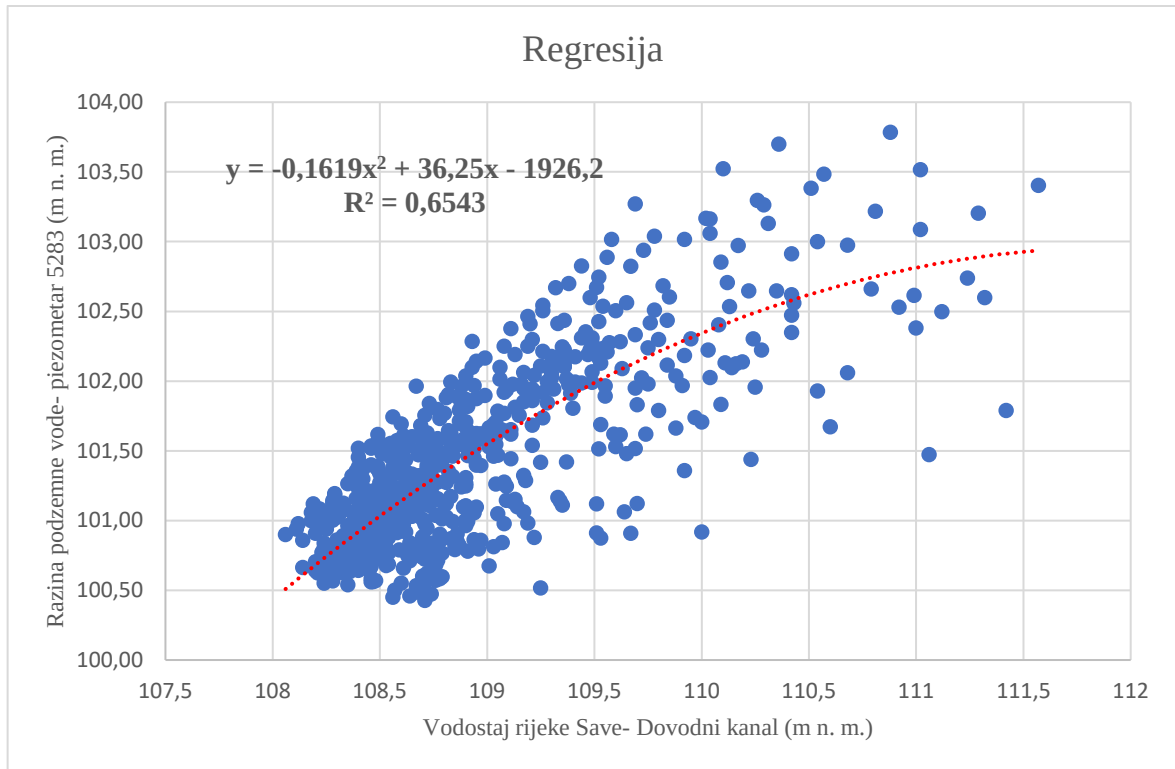
Slika 5.20: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 888 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 892 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.21) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 892 može objasniti 70,74% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 892 od regresijskog modela, dok 29,26% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



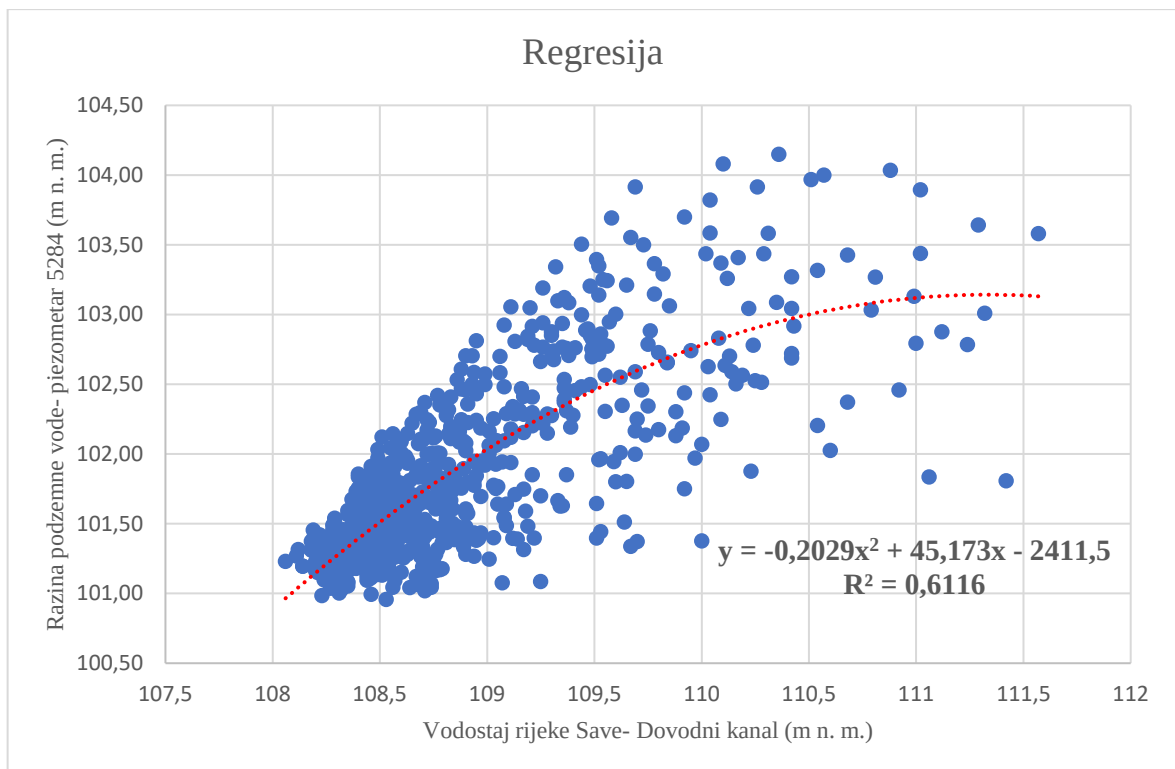
Slika 5.21: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 892 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 5283 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.22) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se funkcionalnim odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 5283 može objasniti 65,43% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 5283 od regresijskog modela, dok 34,57% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



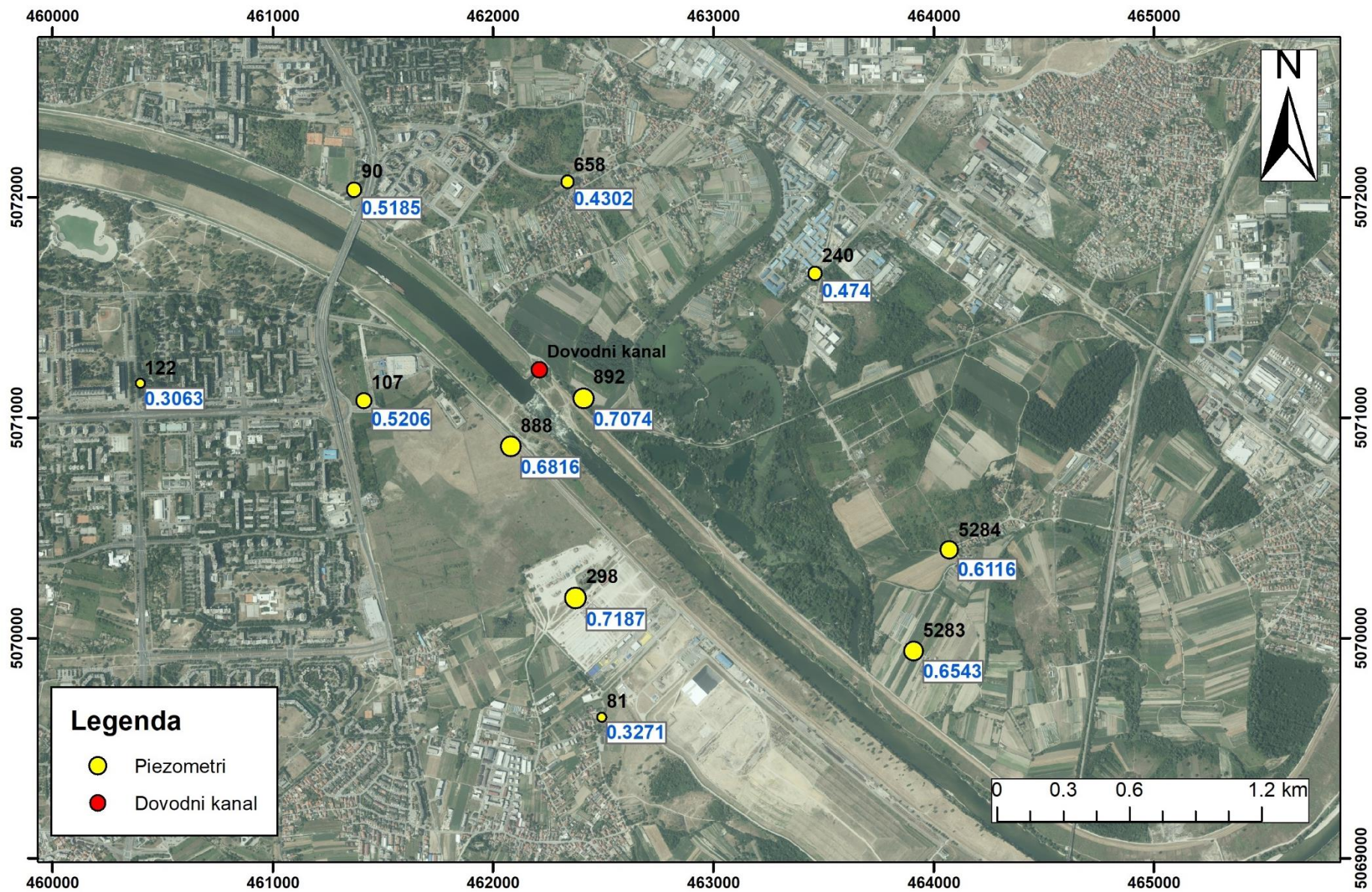
Slika 5.22: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5283 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Analizom vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometru 5284 dobiven je graf prikazan na slici (Slika 5.23) s jednadžbom i koeficijentom determinacije  $R^2$ . Vrijednost  $R^2$  nam ukazuje na to da se odnosom između varijabli vodostaj rijeke Save i RPV-a u piezometru 5284 može objasniti 61,16% ukupnog odstupanja razine vode u piezometru 5284 od regresijskog modela, dok 38,84% ukupnog odstupanja ostaje neobjašnjeno.



Slika 5.23: Prikaz rezultata polinomne regresije vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5284 s jednadžbom polinoma II. stupnja i koeficijentom determinacije

Vrijednosti svih dobivenih koeficijenata determinacije, zajedno s oznakom piezometra, možemo vidjeti na slici (Slika 5.24) gdje je veća vrijednost koeficijenta determinacije prikazana većim simbolom.



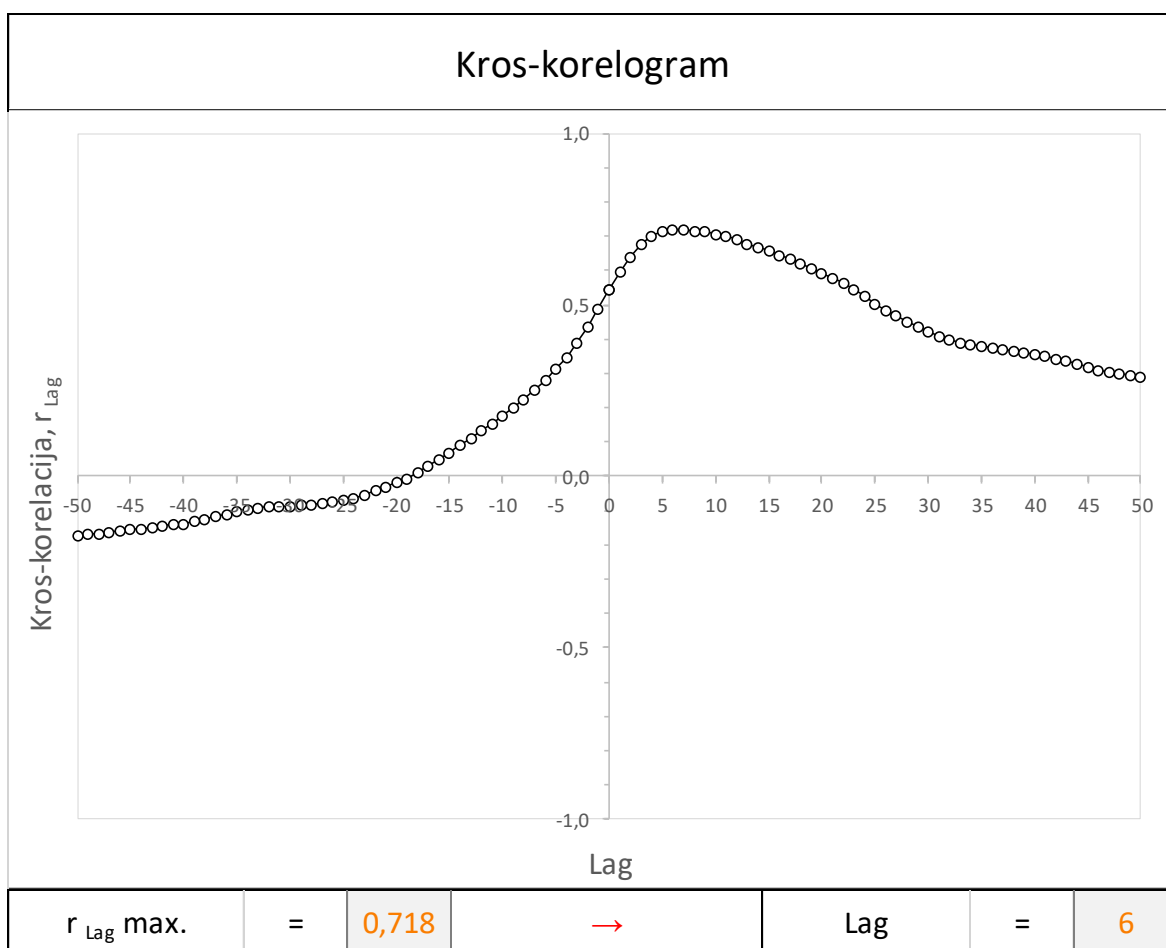
Slika 5.24: Prikaz piezometara sa pripadajućim koeficijentima determinacije (naziv piezometra označen je crnom bojom, a koeficijent determinacije plavom bojom)



### 5.3. KROS-KORELACIJA

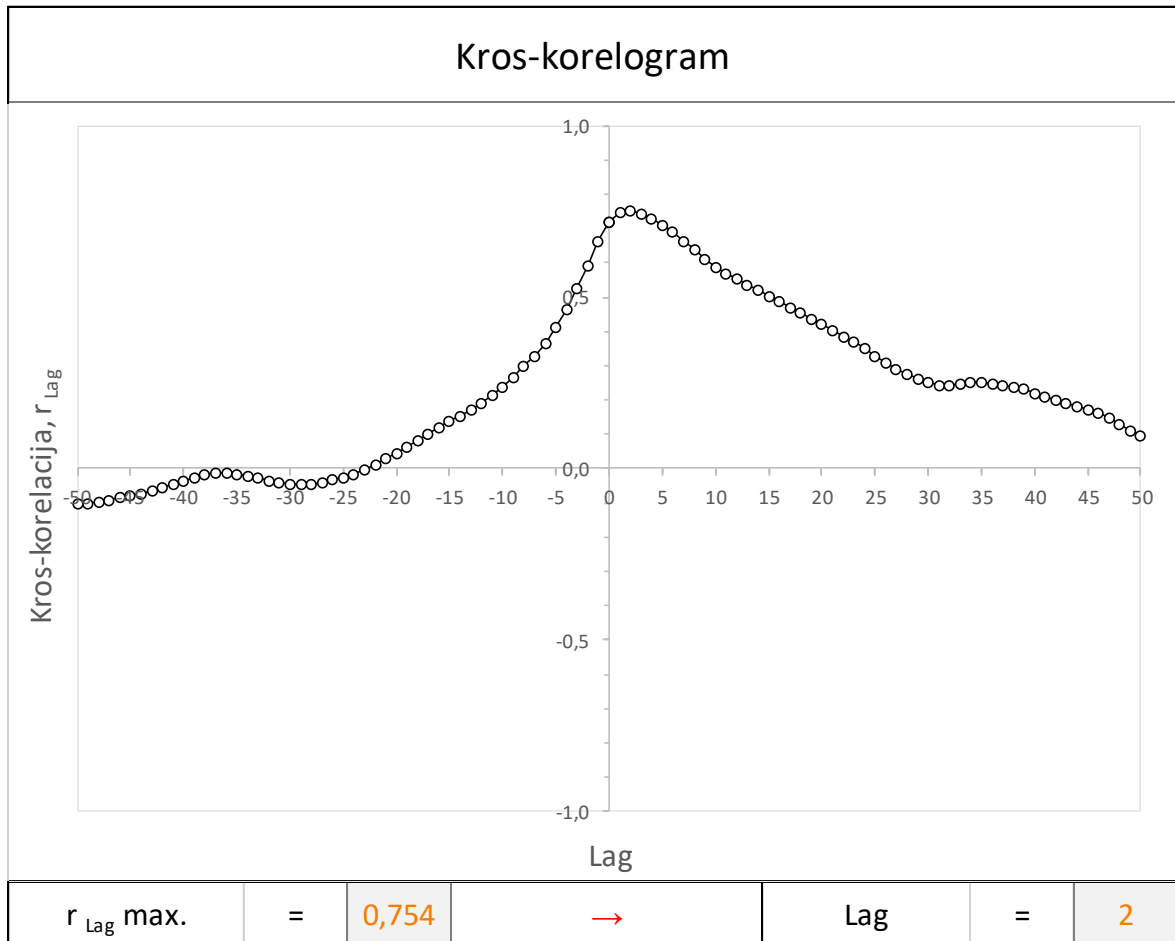
Uz pomoć VBA računalnog programa koji je namjenski izrađen (Posavec i dr., 2017) izvršena je analiza metodom kros-korelacije. Izračunati su koeficijenti korelacije  $r$ . Tražen je  $r$  koji određuje vremensko zaostajanje između dva vremenska seta, odnosno maksimalni koeficijent korelacije.

Slika 5.25 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerene na piezometru 81. Najveći  $r$  iznosi 0,718, te je zabilježen za vremenski korak 6 dana, tj. najveći RPV na piezometru 81 zabilježen je šest dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



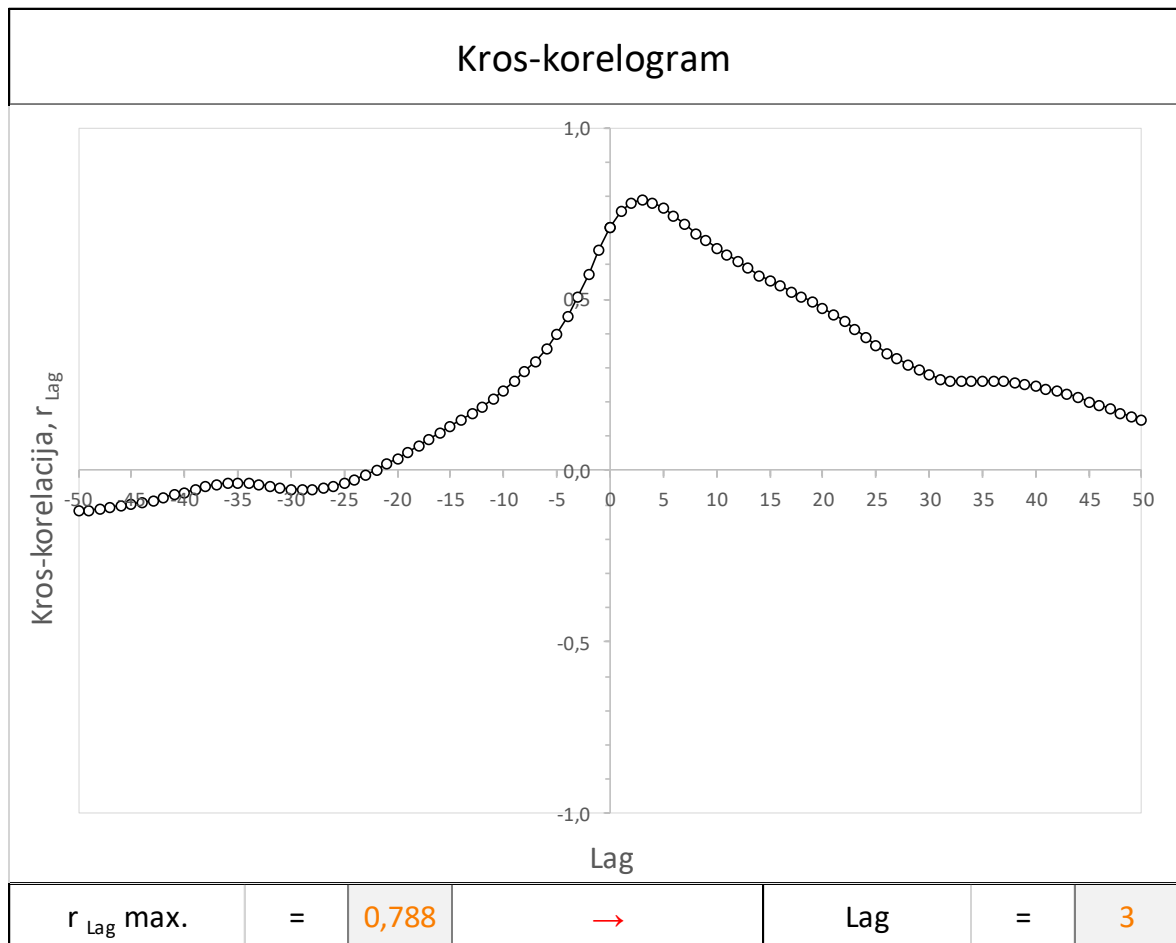
Slika 5.25: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 81

Slika 5.26 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 90. Najveći  $r$  iznosi 0,754, te je zabilježen za vremenski korak 2 dana, tj. najveći RPV na piezometru 90 zabilježen je dva dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



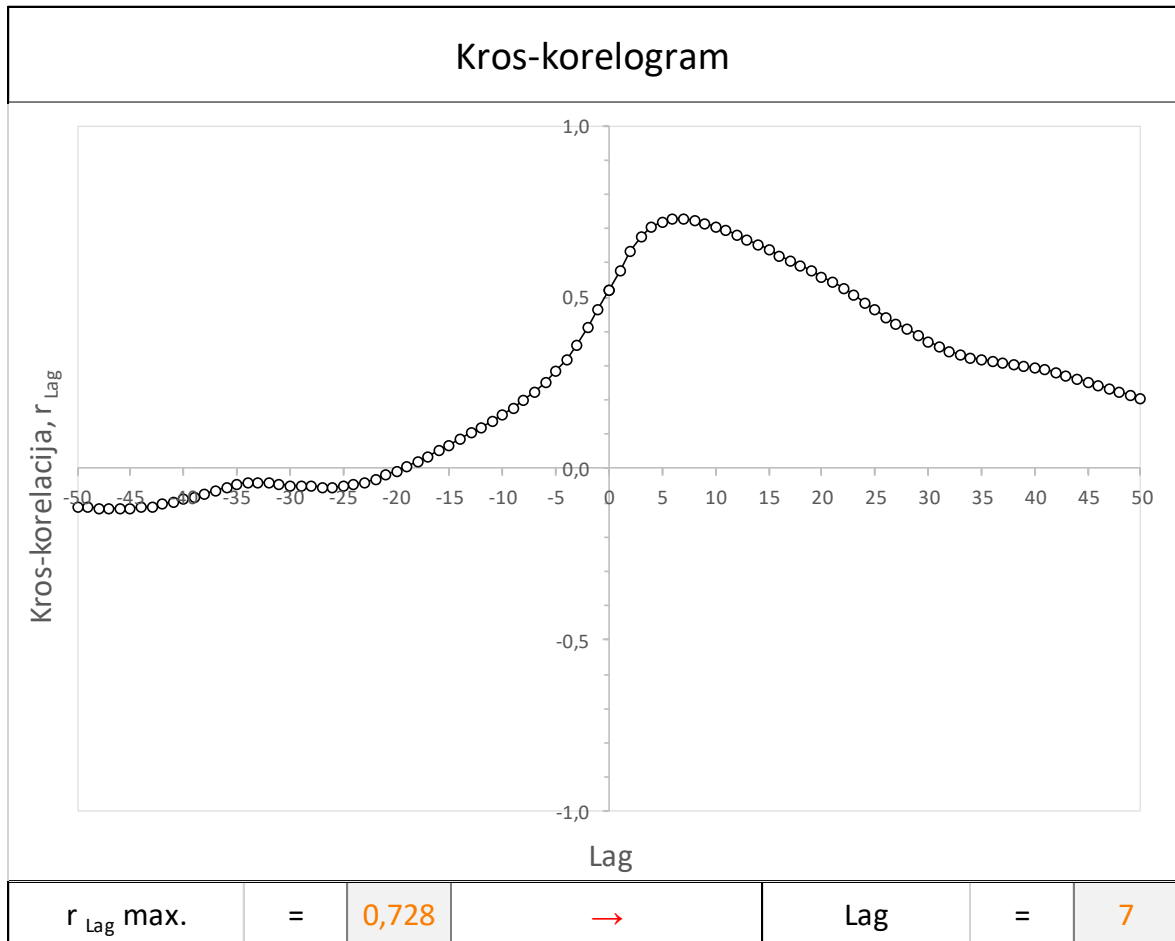
Slika 5.26: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 90

Slika 5.27 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 107. Najveći  $r$  iznosi 0,788, te je zabilježen za vremenski korak 3 dana, tj. najveći RPV na piezometru 107 zabilježen je tri dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



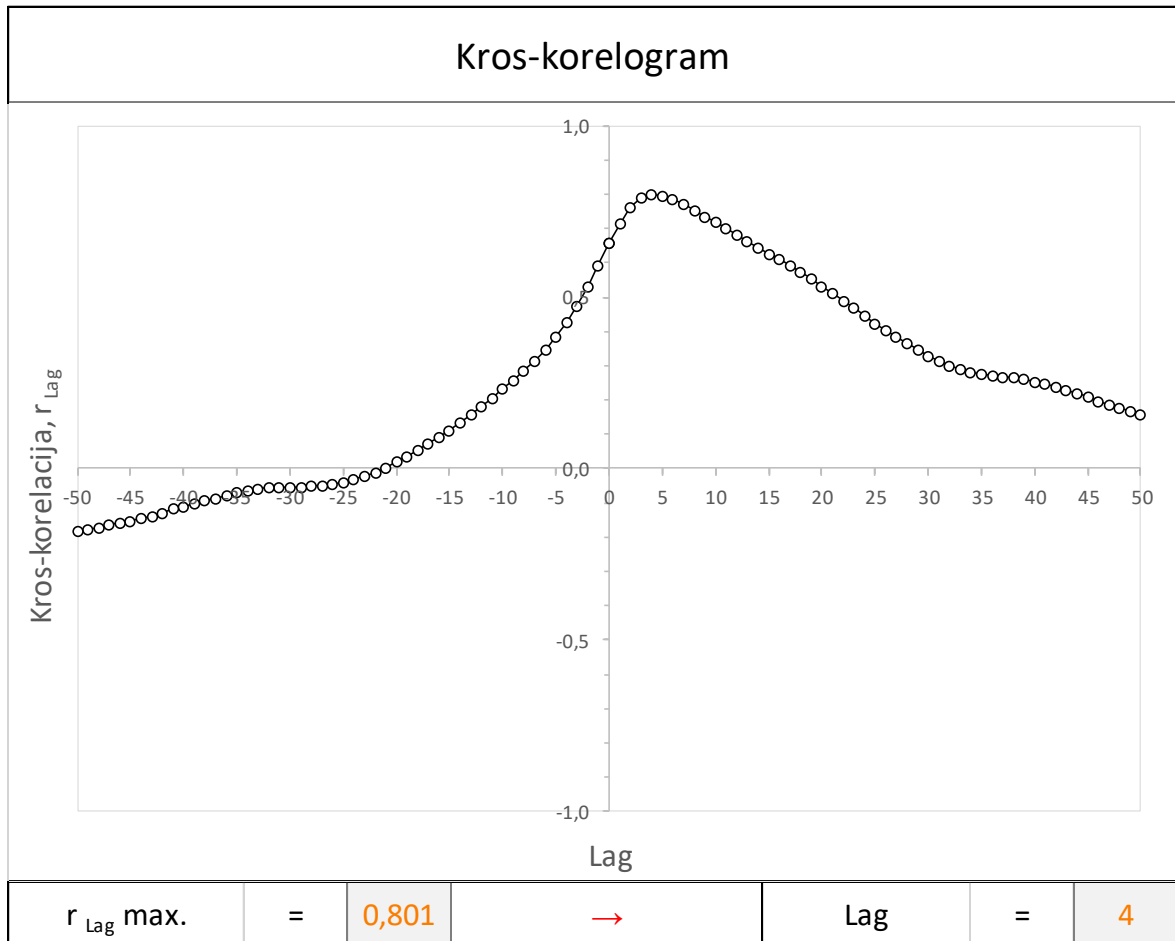
Slika 5.27: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 107

Slika 5.28 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 122. Najveći r iznosi 0,728, te je zabilježen za vremenski korak 7 dana, tj. najveći RPV na piezometru 122 zabilježen je sedam dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



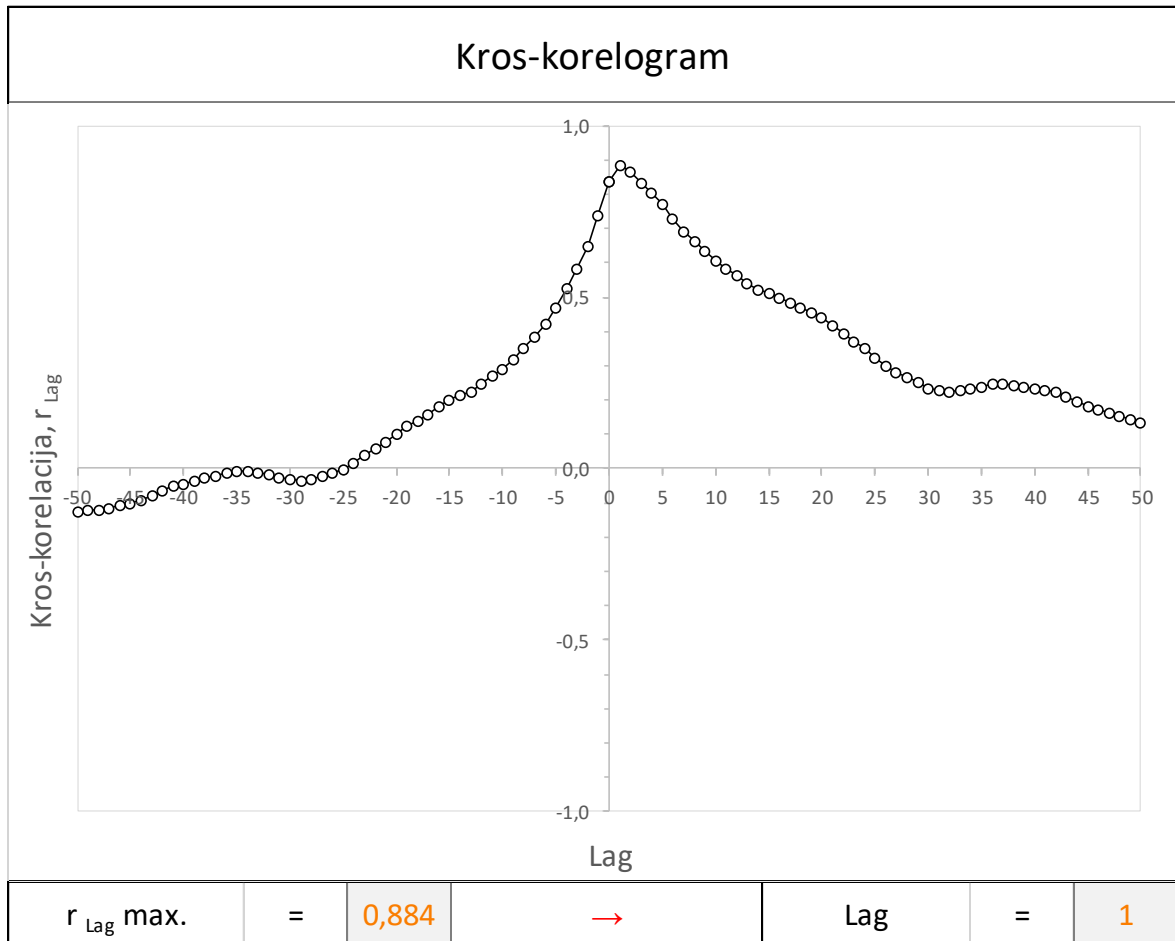
Slika 5.28: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 122

Slika 5.29 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 240. Najveći r iznosi 0,801, te je zabilježen za vremenski korak 4 dana, tj. najveći RPV na piezometru 240 zabilježen je četiri dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



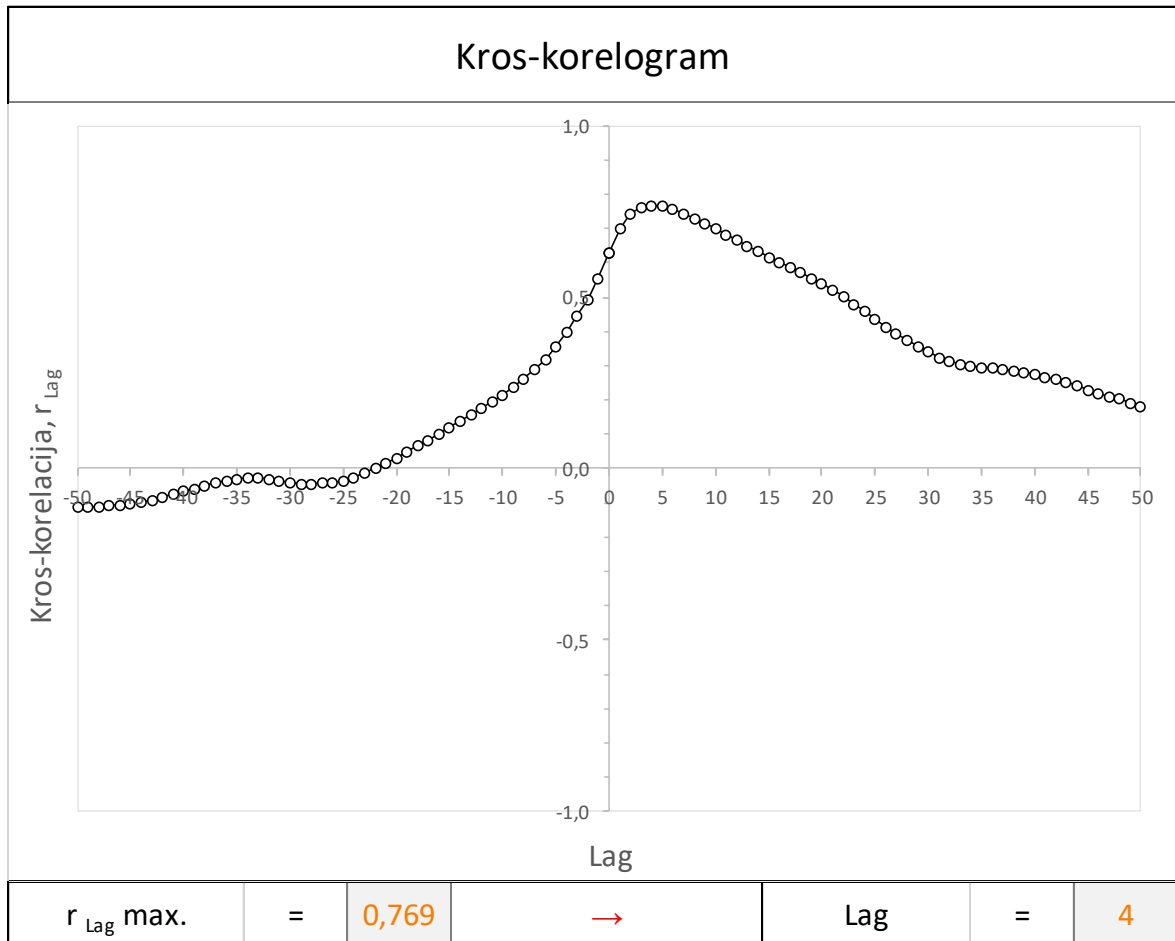
Slika 5.29: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 240

Slika 5.30 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 298. Najveći r iznosi 0,884, te je zabilježen za vremenski korak 1 dan, tj. najveći RPV na piezometru 298 zabilježen je jedan dan nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



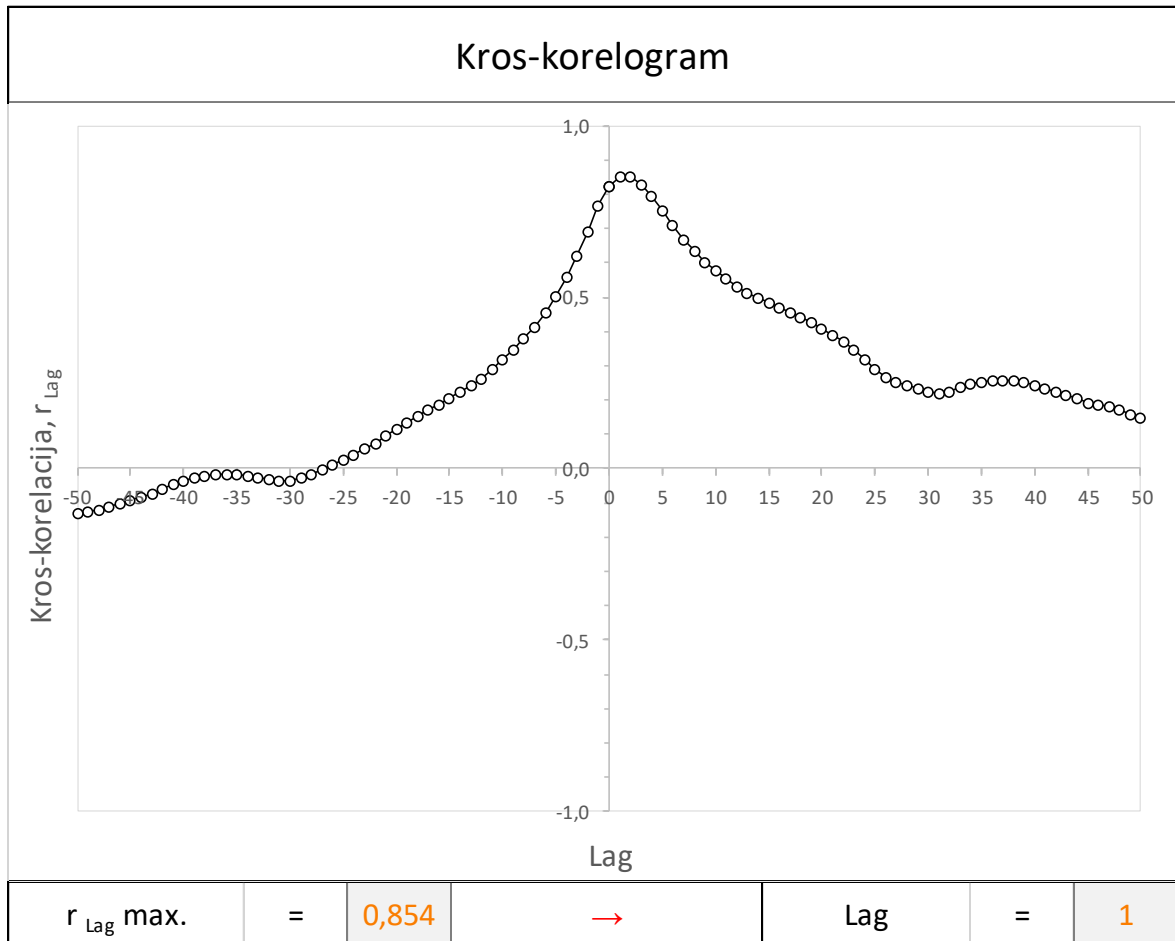
Slika 5.30: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 298

Slika 5.31 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 658. Najveći r iznosi 0,769, te je zabilježen za vremenski korak 6 dana, tj. najveći RPV na piezometru 658 zabilježen je četiti dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



Slika 5.31: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 658

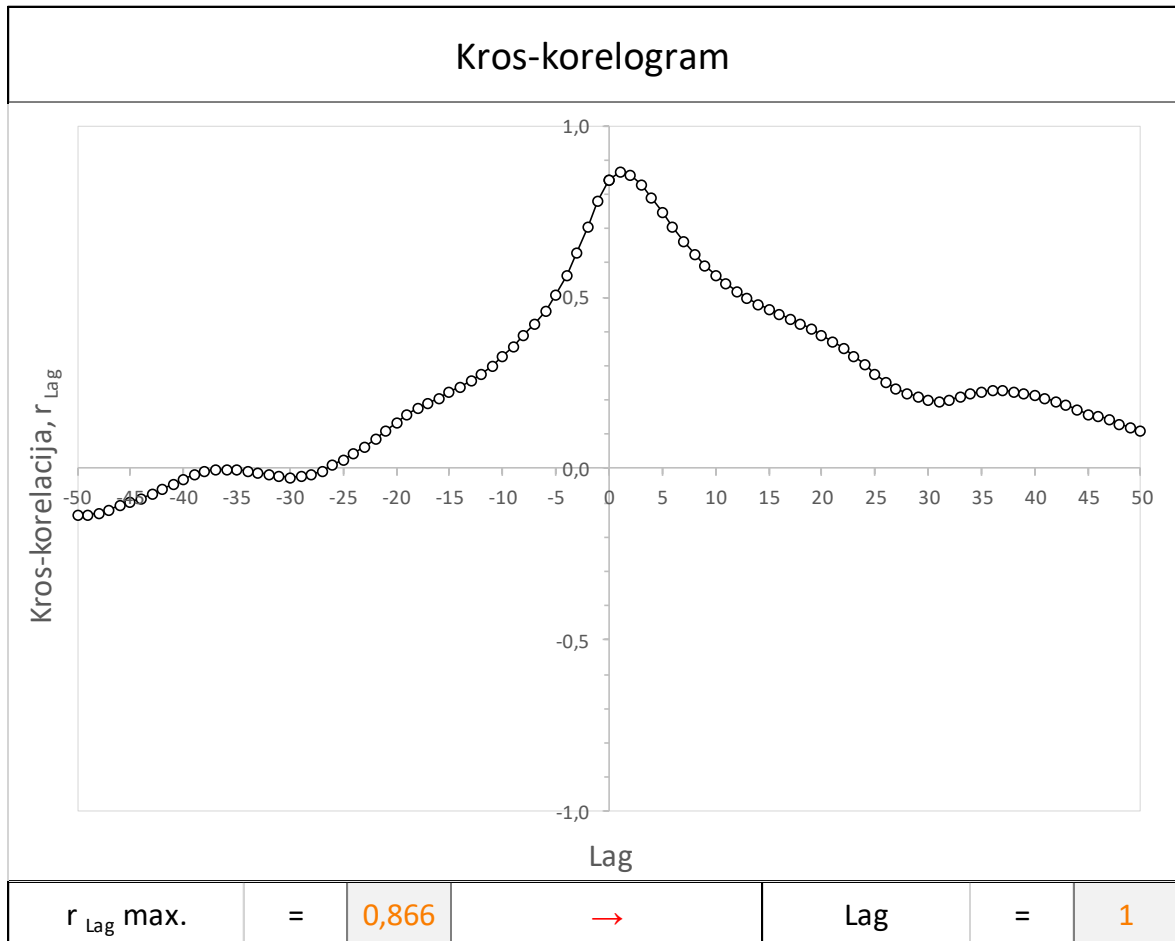
Slika 5.32 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 888. Najveći r iznosi 0,854, te je zabilježen za vremenski korak 1 dan, tj. najveći RPV na piezometru 888 zabilježen je jedan dan nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



Slika 5.32: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 888

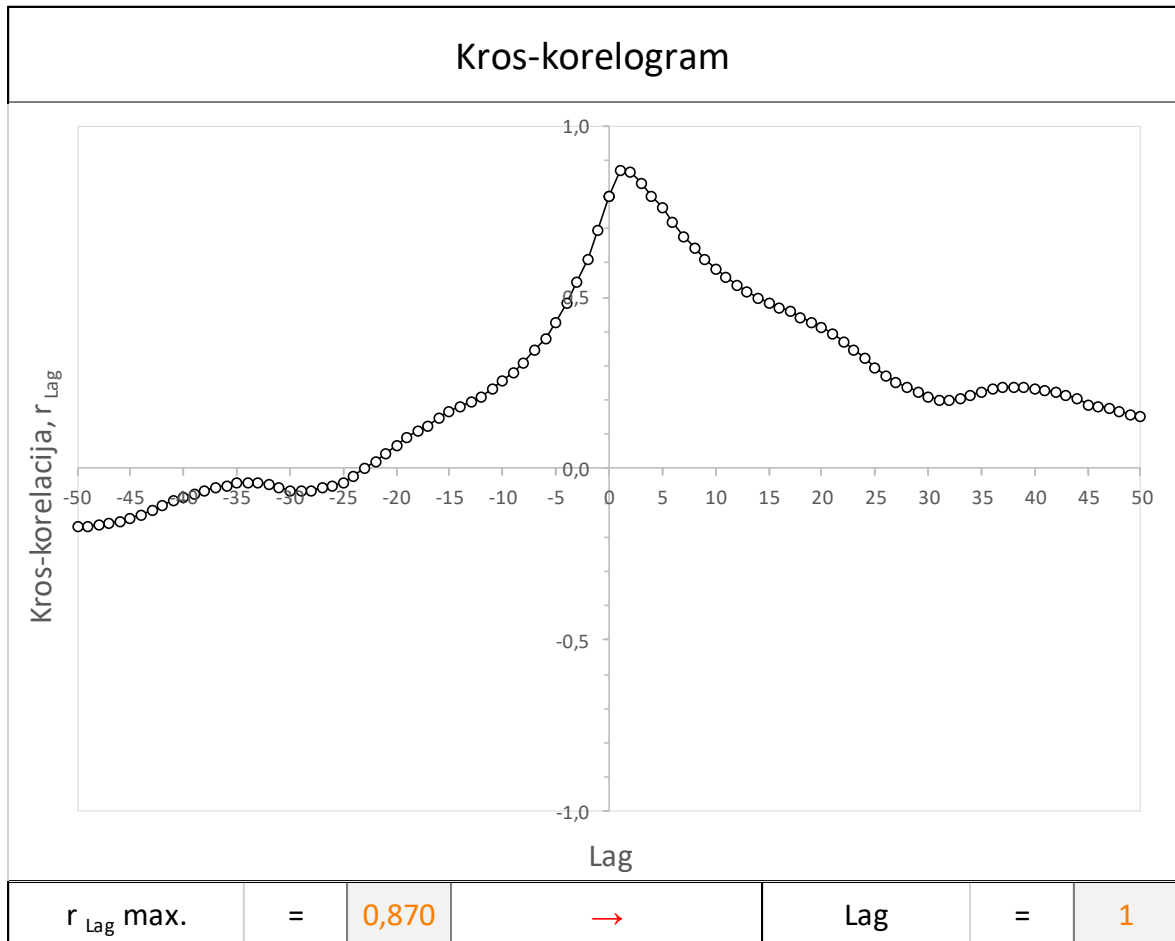


Slika 5.33 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 892. Najveći r iznosi 0,866, te je zabilježen za vremenski korak 1 dan, tj. najveći RPV na piezometru 892 zabilježen je jedan dan nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



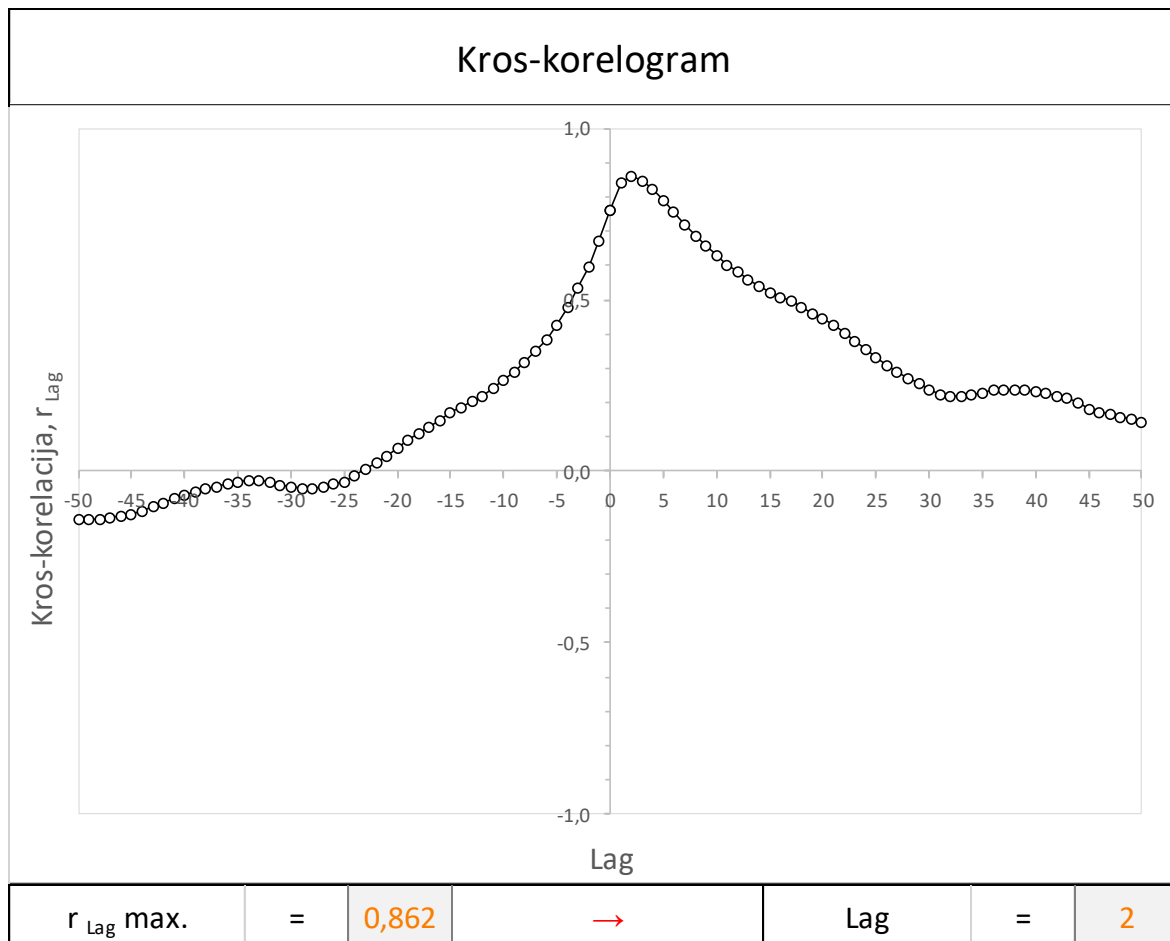
Slika 5.33: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 892

Slika 5.34 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjerenog na piezometru 5283. Najveći r iznosi 0,870, te je zabilježen za vremenski korak 1 dan, tj. najveći RPV na piezometru 5283 zabilježen je jedan dan nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



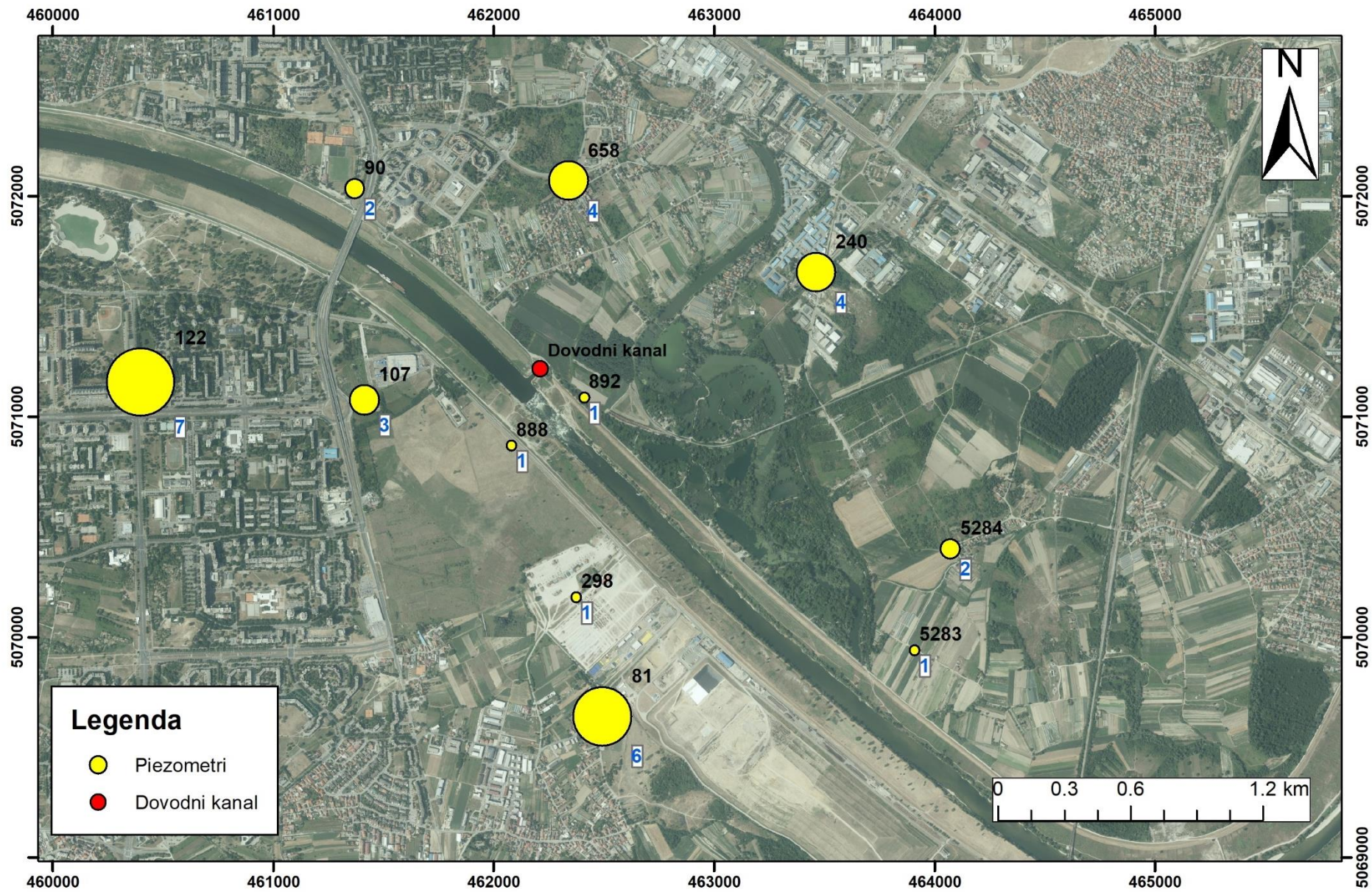
Slika 5.34: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5283

Slika 5.35 prikazuje kros-korelogram dva vremenska seta, vodostaja rijeke Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a izmjenog na piezometru 5284. Najveći  $r$  iznosi 0,862, te je zabilježen za vremenski korak 2 dana, tj. najveći RPV na piezometru 5284 zabilježen je dva dana nakon najvišega vodostaj Save na postaji Dovodni kanal TE-TO.



*Slika 5.35: Kros-korelogram vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i piezometra 5284*

Vrijednosti svih dobivenih vremenskih koraka, zajedno s oznakom piezometra, možemo vidjeti na slici (Slika 5.36) gdje je veće zaostajanje RPV-a u odnosu na vodostaj rijeke Save prikazano većim simbolom.



Slika 5.36: Prikaz piezometara sa vremenskim zaostajanjima (naziv piezometra označen je crnom bojom, a vremensko zaostajanje plavom bojom)

## 6. ZAKLJUČAK

Primjenom metoda korelacije, regresije i kros-korelacije opisan je utjecaj rijeke Save na RPV u piezometrima. Obrade podataka provedene su na tri mjerne postaje na rijeci Savi te na 11 piezometara. Međutim za potrebe ovog diplomskog rada prikazani su samo rezultati mjerne postaje Dovodni kanal TE-TO.

Rezultati svih kombinacija korelacije ukazuju na pozitivan smjer, što znači da porastom vodostaja rijeke Save raste RPV u piezometrima. Ako promatramo desnu obalu rijeke Save, najveći  $r=0,84$ , zabilježen je pri korelaciji Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 298, dok je najmanji  $r=0,52$ , zabilježen pri korelaciji Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 122. Iz navedenog slijedi da prosječna vrijednost  $r$  na desnoj obali Save iznosi  $r=0,688$ . Što se tiče lijeve obale Save, najveći  $r=0,84$ , zabilježen je korelacijom Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 892, dok je najmanji  $r=0,63$ , zabilježen korelacijom Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 658. Prosječna vrijednost  $r$  na lijevoj obali Save iznosi  $r=0,735$ . Iz oba slučaja se može zaključiti da je veza između vodostaja rijeke Save i RPV-a srednje jaka.

Metoda regresije rezultirala je jednadžbama polinoma II. stupnja za svaku kombinaciju obrađivanih podataka te koeficijentima determinacije. Na desnoj obali rijeke Save, najveći  $R^2$  zabilježen je pri analizi regresije Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 298 te iznosi 0,6816. Najmanji  $R^2$ , koji je zabilježen pri analizi regresije Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 122 iznosi 0,3063, a prosječna vrijednost  $R^2$  iznosi 0,51086. Na lijevoj obali rijeke Save, najveći  $R^2$  zabilježen je pri analizi regresije Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 892 te iznosi 0,7074. Najmanji  $R^2$ , koji je zabilježen pri analizi regresije Dovodnog kanala TE-TO i piezometra 658 iznosi 0,4302, a prosječna vrijednost  $R^2$  iznosi 0,566. Promatrajući prosječnu vrijednost, za oba slučaja, možemo reći da otprilike 50% ukupnog odstupanja RPV-a od regresijskog modela može se pojasniti dobivenim funkcionalnim odnosom među varijablama visina vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a na piezometrima, dok 50% ostaje neobjašnjeno.

Metodom kros-korelacije dobiven je vremenski korak čiji koeficijent kros-korelacije je maksimalan. On odgovara vremenu zaostajanja promjene vodostaja rijeke Save na promjenu RPV-a. U slučaju desne strane obale najveće zaostajanje zabilježeno je pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i piezometar 122, s iznosom od sedam dana, dok je najmanje zaostajanje zabilježeno pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i piezometar 289, koje kao i pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i piezometar 888 iznosi jedan dan. Na lijevoj strani obale najveće zaostajanje zabilježeno je pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i

piezometar 240 te pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i piezometar 658, a iznosi četiri dana. Najmanje zaostajanje je zabilježeno pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i piezometar 892 koje kao i pri kros-korelaciji Dovodni kanal TE-TO i piezometar 5283 iznosi jedan dan.

Pregledom svih podataka vidljiva je povezanost vodostaja Save Dovodni kanal TE-TO i RPV-a u piezometrima koja je slična na obje strane obale. S pretpostavkom ispravnosti podataka, tek kod metode kros-korelacije se uočava razlika iz usporedbe desne i lijeve obale rijeke Save. Može se zaključiti da će najveća RPV-a na lijevoj obali rijeke Save, u najgorem slučaju, biti zabilježena četiri dana nakon najvećeg vodostaja Save na mjerenoj postaji Dovodni kanal TE-TO, dok je desnoj obali potrebno sedam dana. Nadalje, uočava se smanjenje vrijednosti određenih koeficijenata s povećanjem udaljenosti piezometara od rijeke Save.

Pri izradi diplomskog rada Al-Ahmed je koristio podatke za istu mjernu postaju Dovodni kanal TE-TO, te podatke s 4 piezometra od kojih su 3 piezometra ista kao u ovom radu; piezometri 298, 888, 892. Nakon provedbe analize statističkim metodama dolazi do zaključka da jedino kod kombinacije mjerne postaje Dovodni kanal TE-TO i piezometra 892 dolazi do jake korelacije popraćene velikom vrijednosti koeficijenta korelacije, relativno velikog koeficijenta determinacije koji upućuje da regresijski model dobro opisuje mjerne vrijednosti, te da je najveći RPV na piezometru zabilježen jedan dan nakon najvišeg vodostaja Save na postaji Dovodni kanal TE-TO. Pri provedbi istih metoda u ovome radu uočeno je da se kombinacijom podataka s mjerne postaje TE-TO i podataka sa sva tri piezometra dolazi do jake korelacije, relativno velikog koeficijenta determinacije te vremenskog zaostajanja od 1 dan. Na temelju ovih usporedbi zaključuje se da je izračunata bolja povezanost mjerne postaje Dovodni kanal TE-TO i navedenih piezometara za razdoblje 2019. i 2020. nego za razdoblje od 1994. do 2000. godine.

Nadalje, usporedbom podataka za apsolutne visine vodostaja i razine podzemne vidljivo je da nema velike razlike ako se promatra prosječna vrijednost. Naime, vrijednosti apsolutne visine vodostaja i podzemne vode, između 1994. i 2000., isto kao i između 2019. i 2020., značajno variraju. Takva pojava može se pripisati nekontroliranom bacanju betonskih blokova u korito rijeke Save kod mjerne postaje Dovodni kanal TE-TO, što dovodi do promjene elevacije krune praga.

## 7. LITERATURA

AL-AHMED, F. (2017): Identifikacija utjecaja praga TE – TO na podzemne vode neposrednog zaobalja: diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

BAČANI, A I POSAVEC, K. (2014): Elaborat o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

BEDENIKOVIĆ, T. (2017): Identifikacija hidrauličke veze rijeke Odre i podzemnih voda istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika: diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

BERAKOVIĆ, M. (2009): Radovi na rijeci Savi, Hrvatska vodoprivreda. Zagreb, 190-191, str. 16-20

BIONDIĆ, D. (1995): Morfološke prognoze korita Save: diplomski rad. Zagreb: Građevinski fakultet.

BRKIĆ, Ž. I BIONDIĆ, B. (2000): Savski vodonosnik i njegove hidrogeološke značajke. Hidrologija i vodni resursi Save u novim uvjetima, zbornik radova, okrugli stol. Slavonski Brod.

DAVIS, J.C. (2002): Statistics and Data Analysis in Geology, Third Edition. John Wiley & Sons Inc., New York.

GULIĆ, A. (2018): Korelacijsko, kroskorelacijsko i regresijsko modeliranje interakcije oborina i razina podzemne vode na području jugoistočnog dijela zagrebačkog vodonosnika: diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

KUSPILIĆ, N. I GILJA, G. (2016): Potencijalan učinak morfoloških promjena rijeke Save na zagrebački vodonosnik. Strategija razvoja vodoopskrbe i odvodnje grada Zagreba. Zagreb: Društvo građevinskih inženjera, str 13-22.

MONTGOMERY, D. C. I RUNGER, G. C. (2003.): Applied Statistics and Probability for Engineers, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, p. 706.

POSAVEC, K. (2006): Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja: doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

POSAVEC, K. I ŠKUDAR, S. (2016): Korelacijsko, regresijsko i kros-korelacijsko modeliranje vremenskih podataka u hidrogeologiji: 1. Hrvatski znanstveni skup iz geomatematike i nazivlja u geologiji zbornik recenziranih radova i sažetaka. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str 75-90.

POSAVEC, K., VUKOJEVIĆ, P., RATKAJ, M. I BEDENIKOVIĆ, T. (2017): Cross-correlation Modelling of Surface Water – Groundwater Interaction Using Excel Spreadsheet Application. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 32, 1, 25-32.

RATKAJ, M. (2014): Identifikacija utjecaja vodostaja rijeke Save na vodostaj jezera Jarun: diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

ŠKUDAR, S. (2016): Hidraulička povezanost aluvijalnih i proluvijalnih naslaga zagrebačkog vodonosnika: diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

URUMOVIĆ, K. I MIHELČIĆ, D. (2000): Podzemne vode savskog vodonosnika. Hidrologija i vodni resursi Save u novim uvjetima: zbornik radova. Slavonski brod: okrugli stol.

VELIĆ, J I DURN, G. (1993): Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologia Croatica, vol. 46, no. 1, p. 71-90.

VELIĆ, J. I SAFTIĆ, B. (1991): Subsurface Spreading and Facies Characteristics od Middle Pleistocene Deposits between Zaprešić and Samobor. Geološki vjesnik, vol. 44, p. 69-82.



VELIĆ J, SAFTIĆ, B, I MALVIĆ, J. (1999): Lithologic Composition and Stratigraphy of Quaternary Sediments in the Area of the “Jakuševac“ Waste Depository (Zagreb, Northern Croatia). *Geologia Croatica*, vol. 52, no. 2, p. 119-130.

VUKOJEVIĆ, P. (2010): Identifikacija utjecaja vodostaja Dunava i Drave na vodostaj jezera Sakadaš: diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

ŽUGAJ, R. (2000): Hidrologija. RGN fakultet, Zagreb

**WEB IZVORI:**

<https://www.hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/termoelektrane-toplane/te-to-zagreb/1565> 2.5.2022.

<https://slidetodoc.com/9-regresija-i-korelacija-jednodimenzionalna-analiza-istraivanje-jedne/> 20.5.2022.