

# Odnos rijeke Save i podzemne vode na području Slavenskog Broda

---

**Perić, Lucijan**

**Undergraduate thesis / Završni 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:169:050055>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij geološkog inženjerstva

**ODNOS RIJEKE SAVE I PODZEMNE VODE NA PODRUČJU SLAVONSKOG  
BRODA**

Završni rad

Lucijan Perić

G2244

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/138  
URBROJ: 251-70-15-23-2  
U Zagrebu, 12. 9. 2023.

Lucijan Perić, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/138, URBROJ: 251-70-15-23-1 od 3. 7. 2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### ODNOS RIJEKE SAVE I PODZEMNE VODE NA PODRUČJU SLAVONSKOG BRODA

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc. dr. sc. Zoran Kovač nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(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)

## ODNOS RIJEKE SAVE I PODZEMNE VODE NA PODRUČJU SLAVONSKOG BRODA

Lucijan Perić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

U ovom završnom radu istražuje se odnos rijeke Save i podzemne vode na području Slavanskog Broda. Vodonosnici na području Slavanskog Broda svrstavaju se u dobro propusne aluvijalne vodonosnike. Pri analizi podataka korišteni su podaci o vodostaju rijeke Save na postaji Slavanski Brod, te mjereni podaci razine podzemnih voda na piezometru P - 9. Za obradu podataka korištene su metode korelacije, regresije i kroskorelacije. Rezultati istraživanja su pokazali da su promjene u razini vodostaja rijeke Save popraćene sa promjenama razine podzemne vode na području Slavanskog Broda.

Ključne riječi: Piezometar, vodostaj, rijeka, Sava, korelacija, regresija, kroskorelacija,

Završni rad sadrži: 21 stranicu, 1 tablicu, 11 slika, i 10 referenca.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr.sc. Zoran Kovač, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Zoran Kovač, docent RGNF  
Dr.sc. Zoran Nakić, redoviti profesor RGNF  
Dr.sc. Jelena Parlov, izvanredna profesorica RGNF

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. Geografske značajke .....	2
2.2. Geološke značajke .....	2
2.3. Hidrogeološke značajke .....	3
3. METODE ISTRAŽIVANJA .....	7
3.1. Korelacijska analiza .....	9
3.2. Regresijska analiza .....	10
3.3. Kroskorelacijska analiza .....	11
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	13
4.1. Korelacija .....	13
4.2. Regresija .....	14
4.3. Kroskorelacija .....	14
5. ZAKLJUČAK .....	15
6. LITERATURA .....	16

## **POPIS SLIKA**

Slika 2 – 1. Lokacije istraživanja na području Slavenskog Broda. ....	2
Slika 2 – 2. Shematska hidrogeološka karta grupiranog vodnog tijela Istočna Slavonija – sliv Save (Nakić i dr. 2016). ....	4
Slika 2 – 3. Uzdužni shematski hidrogeološki profil kroz grupirano vodno tijelo Istočna Slavonija – sliv Save (Brkić, 1999; Nakić i dr. 2016). ....	5
Slika 2 – 4. Poprečni shematski hidrogeološki profil kroz grupirano vodno tijelo Istočna Slavonija – sliv Save (Bačani, 1997; Nakić i dr. 2016). ....	5
Slika 2 – 5. Shematski prikaz bušotine P - 9. ....	6
Slika 3 – 1. Način izračuna RPV-e. ....	8
Slika 3 – 2. Način izračuna vodostaja rijeke Save, s postaje Slavonski Brod. ....	9
Slika 3 – 3. Prikaz tablice u jednom dijelu sučelja softvera korištenog za izračun kroskorelacije. ....	12
Slika 4 – 1. Prikaz regresijske analize, te koeficijenta korelacije i determinacije. ....	13
Slika 4 – 2. Odnos rijeke Save i razine podzemne vode s piezometra P - 9. ....	13
Slika 4 – 3. Kroskorelogram vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode. ....	14

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3 – 1. Opis vrijednosti koeficijenta determinacije $R^2$ prema Chadocku (Gulić, 2018; Tremljan, 2019). ....	11
---	----

## 1. UVOD

U ovom se završnom radu ispituje odnos između rijeke Save i podzemne vode na području Slavanskog Broda, grada na području istočne Hrvatske koji predstavlja sjedište Brodsko – posavske županije. Smješten je duž sjeverne obale rijeke Save, uz samu granicu s Bosnom i Hercegovinom.

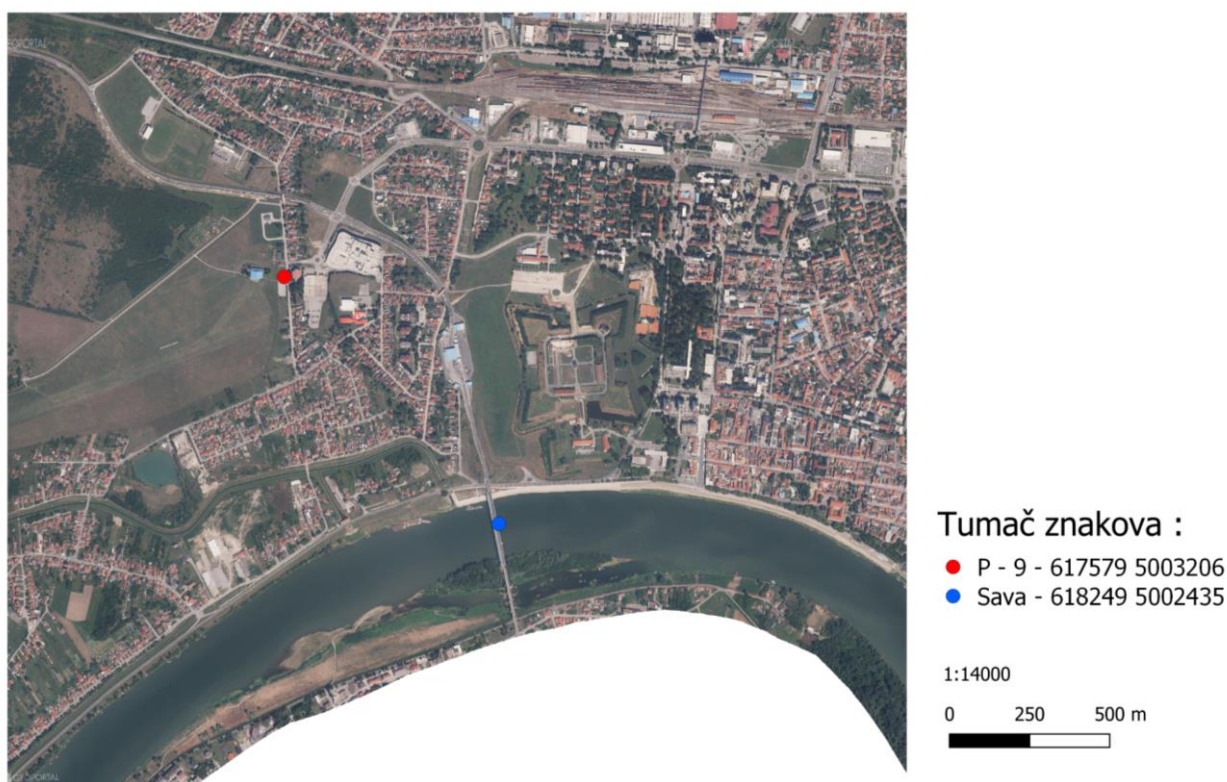
Vodonosnici funkcioniraju kao prirodni rezervoari koji pohranjuju podzemnu vodu. Na vodonosnike, odnosno razinu podzemnih voda, utječu i vodostaji rijeka koji su u njihovoj neposrednoj blizini, odnosno ukoliko su s njima u kontaktu. Naime, povećanje vodostaja rijeke prouzročeno od čimbenika poput kiše ili otapanja snijega, uzrokovat će povišenje razina podzemnih voda, odnosno nadopunjavanje vodonosnika. Nasuprot tome, tijekom sušnih razdoblja dolazi do niskih vodostaja rijeke, a samim time i do niskih razina podzemnih voda. S toga je važno definirati i utvrditi interakciju između vodostaja rijeka i razine podzemnih voda, jer to ima veliki značaj na planiranje i upravljanje vodenim resursima.

Svrha ovog završnog rada jest obraditi i istražiti odnos između rijeke Save i podzemne vode na području Slavanskog Broda. U tu svrhu korišteni su dnevni podaci vodostaja s postaje Slavonki Brod na rijeci Savi i razine podzemne vode s piezometra P - 9, u razdoblju od 1.7.2021. – 31.12.2021. godine. Za testiranje navedenog odnosa korištene su metode korelacije, regresije i kroskorelacije.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Geografske značajke

Slavonski Brod je smješten na obali rijeke Save, koja kroz grad protječe od sjeverozapada prema jugoistoku. Rijeka služi kao prirodna granica između Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine u ovom području. Rijeka Sava je pritok rijeke Dunav i ima ukupnu dužinu od oko 945 kilometara. Piezometar P - 9 se nalazi unutar glavne meteorološke postaje Državnog hidrometeorološkog zavoda Slavonski Brod, dok su mjerenja vodostaja rijeke Save odrađena na postaji Slavonski Brod (3098).



Slika 2 – 1. Lokacije istraživanja na području Slavonskog Broda.

### 2.2. Geološke značajke

Područje istraživanja, a i veći dio samog grada Slavonskog Broda, prekriveno je kvartarnim naslagama koje uključuju aluvijalne sedimente. Ove se naslage obično nalaze duž riječnih obala i poplavnih ravnica i sastoje se od pijeska, mulja i gline. Prisutnost rijeke Save rezultirala je formiranjem riječnih terasa, koje su ravne ili blago nagnute površine uz rijeku. Te su terase nastale prirodnim procesom riječne erozije i taloženja tijekom vremena. Šira geografska regija kojoj Slavonski Brod pripada je Panonski bazen, veliki i relativno

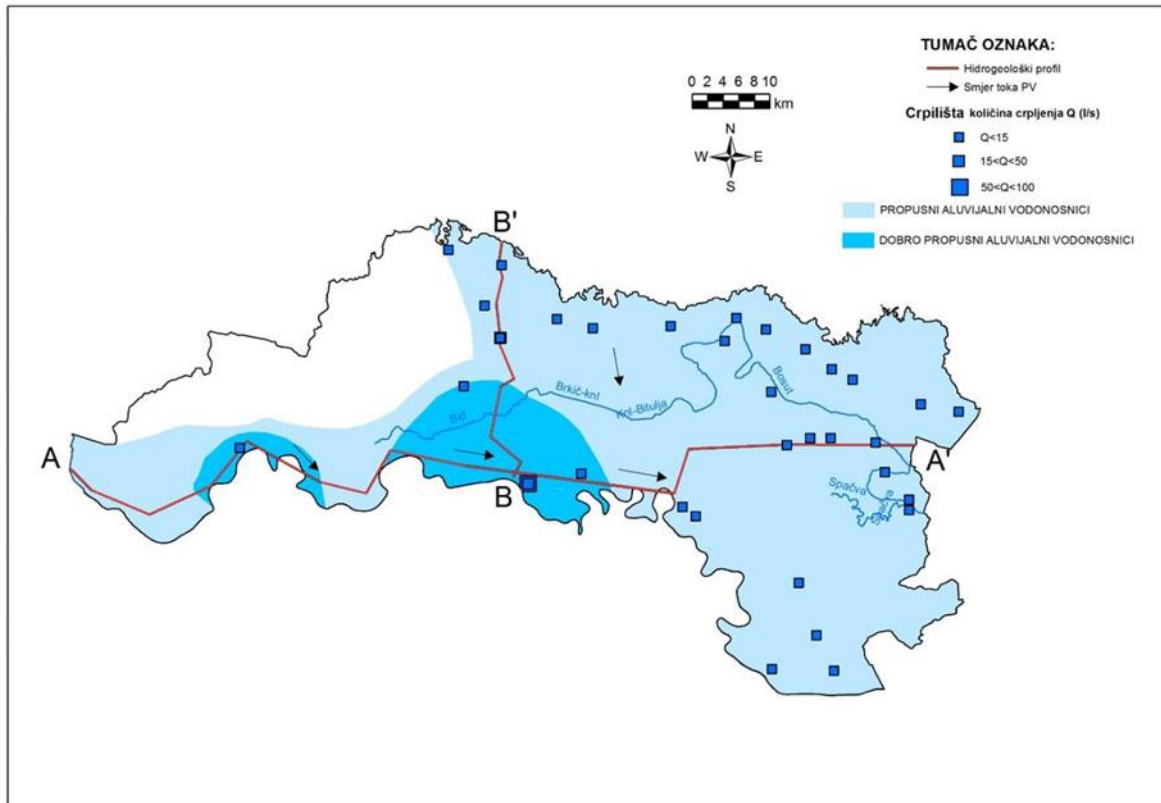


ravni sedimentni bazen kojeg karakteriziraju slojevi sedimentata koji su se nakupljali milijunima godina. Geološke formacije u regiji uglavnom se sastoje od sedimentnih stijena, kao što su pješčenjaci i vapnenci, te su one nastale nakupljanjem i zbijanjem sedimenta tijekom dugih razdoblja. U razdoblju kvartara područje Slavenskog Broda je bilo prekriveno s plitkim jezerima i močvarama, a glavnina transporta i taloženja materijala je bila pod utjecajem klimatskih promjena i okolnih rijeka i vodotoka. Donos velike količine krupnozrnatih materijala, te njihovo odlaganje u močvarama i jezerima se odvijao u toplim razdobljima. Dok je u hladnijim razdobljima transportna moć okolnih vodotoka slabila i veliki dio transporta se odvijao putem vjetra te je samim time došlo do taloženje praha i gline u zaostalim jezerima. Na južnom dijelu uz rijeku Savu, dominantno se taloži šljunak, dok se prema sjeveru taloži pijesak. Taložni ciklusi propusnih sedimentata započinju sa krupnim, slabosortiranim česticama, a završavaju sa sitnozrnastim pijescima nakon kojih slijede prah i glina (Nakić i dr., 2016).

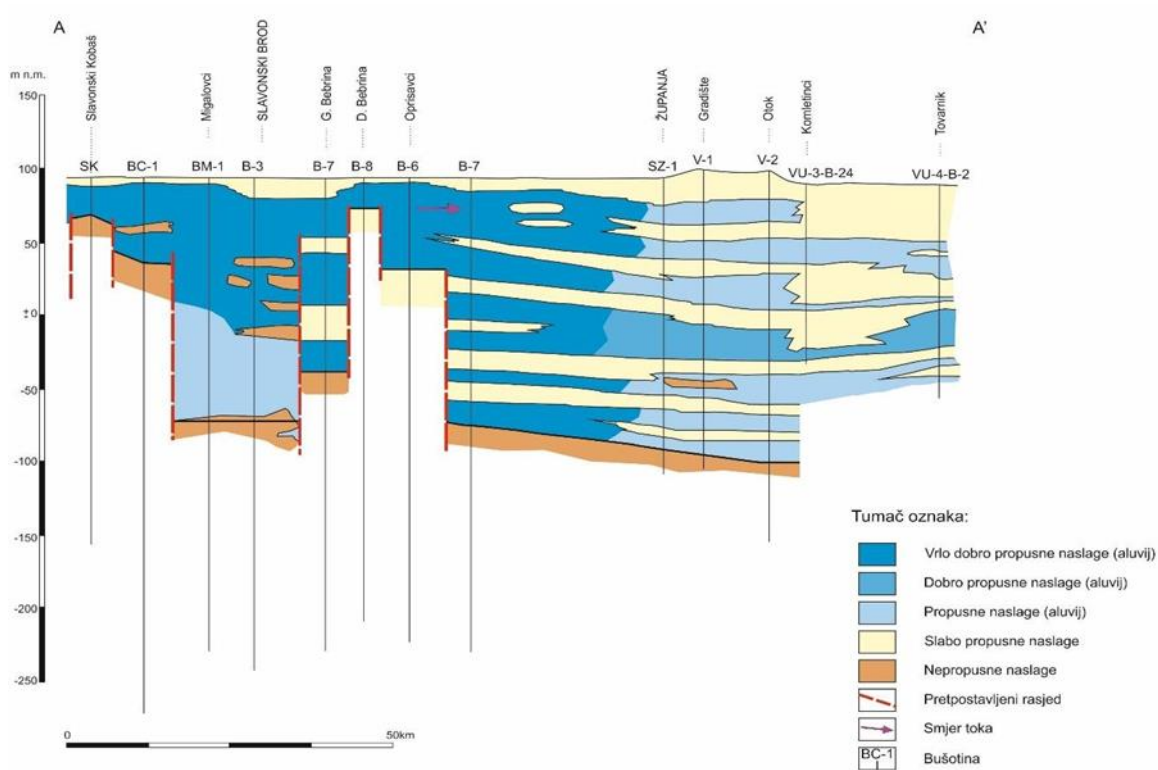
### **2.3. Hidrogeološke značajke**

Hidrogeološke značajke istraživanog područja su pod utjecajem različitih čimbenika, uključujući utjecaj rijeke Save, geološki sastav područja, vrstu vodonosnika i izvor podzemne vode. Područje Slavenskog Broda u neposrednoj blizini rijeke Save ima aluvijalne vodonosnike, koji su slojevi šljunka, pijeska i mulja koje je rijeka taložila tijekom vremena. Aluvijalni vodonosnici pohranjuju i prenose podzemnu vodu i često su značajan izvor vode za okolno stanovništvo, te za poljoprivredu. Na slici 2 – 2 vidljivo je da se vodonosnici na području Istočne Slavonije, s obzirom na propusnost, svrstavaju u dobro propusne aluvijalne vodonosnike. Sa hidrogeološkog profila A – A' istočnoga dijela Slavonije (slika 2 – 3) može se jasno razabrati da se na istraživanom području dominantno nalaze vrlo dobro propusne aluvijalne naslage te propusne naslage. Pojavljuju se i nepropusne naslage koje se javljaju naizmjenično sa aluvijalnim naslagama na dubinama od 50 do -10 m n. m. te se dalje nastavljaju na dubini od otprilike -80 m n. m. Na hidrogeološkom profilu B – B' (slika 2 – 4) vidljivo je kako se slabo propusne naslage izmjenjuju s propusnim aluvijalnim naslagama. Na području Slavenskog Broda nalaze se šljunkovito – pjeskoviti vodonosnici čija debljina iznosi 60 m, a u regiji između Save, Velike Kapanice i Babine Grede doseže vrijednosti preko 100 m. Shodno tome zalihe podzemnih voda u šljunkovito – pjeskovitim vodonosnicima se klasificiraju u strateške zalihe Republike Hrvatske (Nakić i dr., 2016).

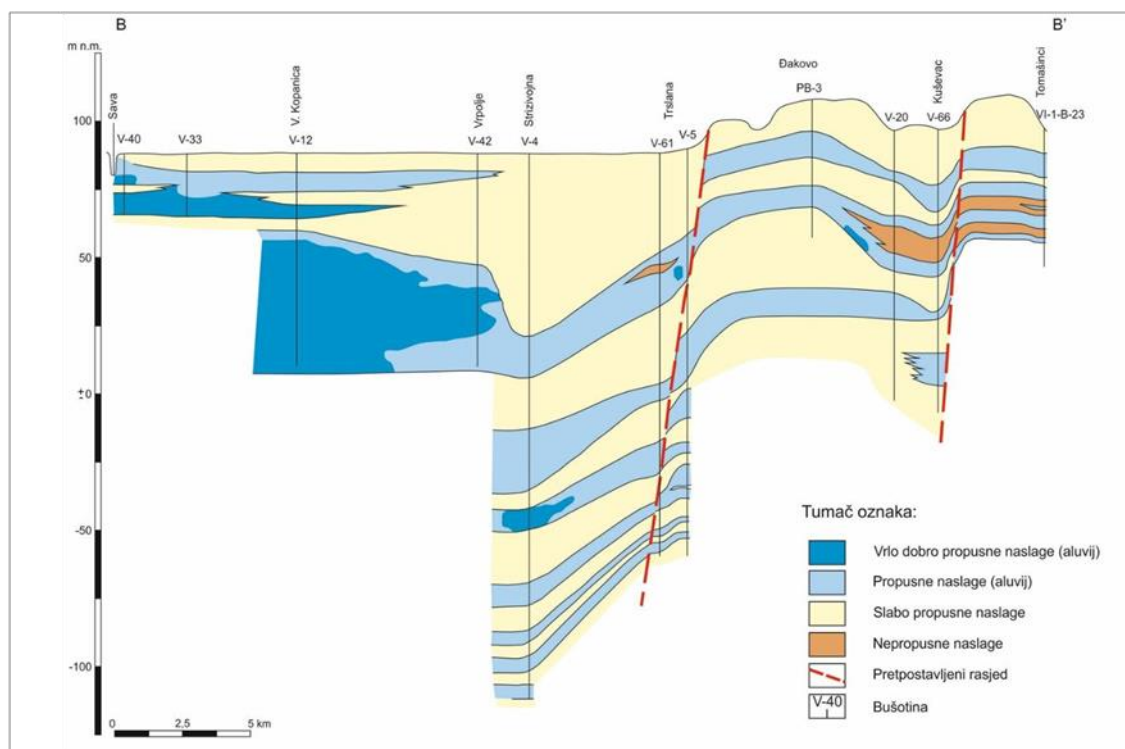
Litološki sastav bušotine P - 9 upućuje na slične hidrogeološke karakteristike istraživanog područja (slika 2 – 5), gdje se jasno može vidjeti slijed litoloških naslaga, koji se sastoji od gline, pijeska i šljunka do dubine od 49 m. Litologija piezometra interpretirana je na temelju podataka iz EGPV baze (Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama, 2003).



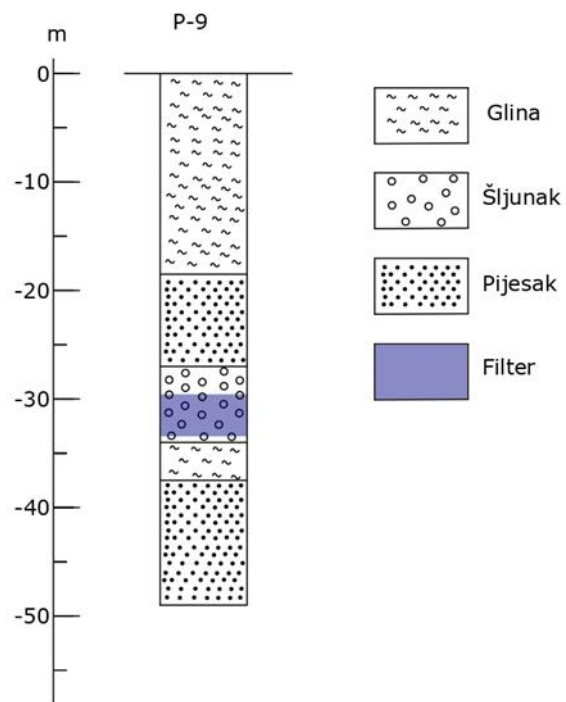
Slika 2 – 2. Shematska hidrogeološka karta grupiranog vodnog tijela Istočna Slavonija – sliv Save (Nakić i dr. 2016).



Slika 2 – 3. Uzdužni shematski hidrogeološki profil kroz grupirano vodno tijelo Istočna Slavonija – sliv Save (Brkić, 1999; Nakić i dr. 2016).



Slika 2 – 4. Poprečni shematski hidrogeološki profil kroz grupirano vodno tijelo Istočna Slavonija – sliv Save (Bačani, 1997; Nakić i dr. 2016).



Slika 2 – 5. Shematski prikaz bušotine P - 9.

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

Za analizu odnosa između rijeke Save i vodonosnika korišteni su podaci DHMZ-a (Državni hidrometeorološki zavod) o vodostaju rijeke Save s postaje Slavonski Brod u razdoblju od 1.7.2021. – 31.12.2021. Razine podzemne vode na piezometru P - 9, izmjerene su pomoću logera Levellogger 5 i Barologger 5 (model 3001, tvrtka Solinst, Kanada) u sklopu projekta „Evaluating Groundwater Resources and Groundwater-Surface-Water Interactions in the Context of Adapting to Climate Change“ financiranog od strane Međunarodne agencije za atomsku energiju.

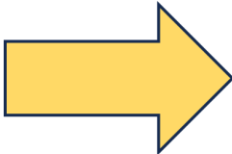
Kako bi se izvorni podaci s logera pretvorili u m n. m. određena je kota nule bušotine. U tu svrhu s GPS prijamnikom Garmin GPSMAP 64s izmjerena je kota nule koja iznosi 87,4 m n. m. (vrh cijevi bušotine). Kota nule je provjerena i sa dostupnih topografskih karata na web stranicama geoportal.hr (Državna geodetska uprava, 2023) i Google Earth (Google, 2021) te iz EGPV baze podataka. S obzirom da je uočena dosta velika razlika u vrijednostima koje se mogu iščitati iz navedenih izvora, od 86 m n. m. do 88,51 m n. m., kao najreprezentativnija je uzeta ona koja je izmjerena s GPS prijamnikom. Međutim, ukoliko se navedeni podaci u budućim istraživanjima budu koristili u detaljnijim hidrogeološkim istraživanjima, primjerice izradi karata ekvipotencijala, potrebno je precizno izmjeriti kotu nule navedene bušotine. Također, izvorni podaci o razinama podzemne vode dobiveni su u satnim intervalima (slika 3 – 1) te ih je bilo potrebno pretvoriti u dnevne kako bi se mogli usporediti s vrijednostima vodostaja rijeke Save. S obzirom na navedeno, izračunate su prosječne vrijednosti razine podzemne vode za svaki dan u razdoblju od 1.7.2021. do 31.12.2021.

Prosječne vrijednosti vodostaja rijeke Save na postaji Slavonski Brod su dobivene u centimetrima nakon čega su pretvorene u metre i zbrojene/oduzete od kote nule koja je vidljiva na stranici DHMZ – a i iznosi 81,8 m n. m. Na taj način izračunati su vodostaji rijeke Save u metrima nad morem. Ti zapisi su također izračunati za vremensko razdoblje od 1.7.2021. – 31.12.2021. godine (slika 3 – 2).

Za kreiranje karte područja istraživanja (slika 2 – 1) uporabljen je računalni program Qgis, (verzija 2.18), dok je za provođenje analize podataka o vodostaju rijeke Save i razine

podzemne vode na području Slavonskog Broda korišten softver Microsoft Excel. Za izradu shematskog prikaza bušotine P - 9 (slika 2 – 5) korišten je računalni program Inkscape (verzija 1.2).

Datum	P-9	Datum	RPV (m n.m.)
	RPV (m n.m.)		
1.7.2021 0:00	80,64	1.7.2021	80,62
1.7.2021 1:00	80,64	2.7.2021	80,57
1.7.2021 2:00	80,64	3.7.2021	80,55
1.7.2021 3:00	80,63	4.7.2021	80,52
1.7.2021 4:00	80,63	5.7.2021	80,51
1.7.2021 5:00	80,63	6.7.2021	80,50
1.7.2021 6:00	80,63	7.7.2021	80,46
1.7.2021 7:00	80,62	8.7.2021	80,42
1.7.2021 8:00	80,62	9.7.2021	80,39
1.7.2021 9:00	80,62	10.7.2021	80,37
1.7.2021 10:00	80,62	11.7.2021	80,36
1.7.2021 11:00	80,62	12.7.2021	80,36
1.7.2021 12:00	80,62	13.7.2021	80,33
1.7.2021 13:00	80,61	14.7.2021	80,31
1.7.2021 14:00	80,61	15.7.2021	80,28
1.7.2021 15:00	80,61	16.7.2021	80,24
1.7.2021 16:00	80,61	17.7.2021	80,23
1.7.2021 17:00	80,61	18.7.2021	80,26
1.7.2021 18:00	80,61	19.7.2021	80,27
1.7.2021 19:00	80,61	20.7.2021	80,29
1.7.2021 20:00	80,60	21.7.2021	80,30
1.7.2021 21:00	80,60	22.7.2021	80,30
1.7.2021 22:00	80,60	23.7.2021	80,35
1.7.2021 23:00	80,60	24.7.2021	80,39
2.7.2021 0:00	80,60	25.7.2021	80,40
2.7.2021 1:00	80,59	26.7.2021	80,39
2.7.2021 2:00	80,59	27.7.2021	80,37
2.7.2021 3:00	80,59	28.7.2021	80,32
2.7.2021 4:00	80,59	29.7.2021	80,28
		30.7.2021	80,24



Slika 3 – 1. Način izračuna RPV-e.

Dnevni podaci postaje SLAVONSKI BROD - SAVA, VODOSTAJ (cm)				Kota nule	Stranica DHMZ-a
Šifra	Naziv	Vodotok	Godina podataka	81,8	
3098	SLAVONSKI BROD	SAVA	2021		
Datum	Visina vodotoka (cm)	Visina vodotoka (m)		Vodostaj Save	
1.7.2021	24	0,24		82,04	
2.7.2021	23	0,23		82,03	
3.7.2021	21	0,21		82,01	
4.7.2021	22	0,22		82,02	
5.7.2021	21	0,21		82,01	
6.7.2021	18	0,18		81,98	
7.7.2021	17	0,17		81,97	
8.7.2021	25	0,25		82,05	
9.7.2021	32	0,32		82,12	
10.7.2021	32	0,32		82,12	
11.7.2021	26	0,26		82,06	
12.7.2021	17	0,17		81,97	
13.7.2021	11	0,11		81,91	
14.7.2021	6	0,06		81,86	
15.7.2021	3	0,03		81,83	
16.7.2021	2	0,02		81,82	
17.7.2021	8	0,08		81,88	
18.7.2021	13	0,13		81,93	
19.7.2021	19	0,19		81,99	
20.7.2021	28	0,28		82,08	
21.7.2021	62	0,62		82,42	
22.7.2021	90	0,9		82,7	
23.7.2021	98	0,98		82,78	
24.7.2021	86	0,86		82,66	
25.7.2021	67	0,67		82,47	
26.7.2021	50	0,5		82,3	
27.7.2021	36	0,36		82,16	
28.7.2021	29	0,29		82,09	
29.7.2021	19	0,19		81,99	

Slika 3 – 2. Način izračuna vodostaja rijeke Save, s postaje Slavonski Brod.

### 3.1. Korelacijska analiza

Korelacija predstavlja odnos između različito predstavljenih vrijednosti dvaju komponenti, pri čemu je taj odnos prikaz vrijednosti jedne komponente procijenjene na temelju saznanja o vrijednosti druge komponente. Ishod korelacijske analize mjeri jačinu odnosa između dviju varijabli i izražava njihov linearni odnos. Taj se odnos izražava koeficijentom korelacije  $r$  koji se kreće od -1 do 1 i prema tome se razlikuje pozitivna, negativna i nulta korelacija (Gulić, 2018).

Kada dvije varijable imaju pozitivnu korelaciju, to znači da imaju tendenciju povećanja ili smanjenja zajedno. Koeficijent korelacije blizu +1 ukazuje na snažan pozitivan odnos. Koeficijent korelacije jednak +1 predstavlja savršenu pozitivnu vezu dviju varijabli. U negativnoj korelaciji, jedna varijabla teži porastu, dok druga opada. Koeficijent korelacije

blizu -1 ukazuje na jak negativan odnos. Pri koeficijentu korelacije koji iznosi -1 dolazi do savršene negativne veze između dvije varijable. Kada je koeficijent korelacije blizu nule, to ukazuje na nepostojanje linearnog odnosa između varijabli (Wikipedia, 2023).

### 3.2. Regresijska analiza

Regresijska analiza je statistička metoda koja se koristi za ispitivanje odnosa između jedne ili više nezavisnih varijabli i zavisne varijable. Primarni cilj regresijske analize je modeliranje i razumijevanje odnosa između ovih varijabli i stvaranje predviđanja ili procjena na temelju podataka (Wikipedia, 2023).

U ovoj analizi korištena je jednostavna linearna regresija. Ova metoda uključuje proučavanje odnosa između dvije kontinuirane varijable. Ispitivana varijabla naziva se zavisna ili regresirana, te se označava sa  $Y$ , dok se pojedinačna mjerenja zavisne varijable označuju sa  $y_i$ . Nezavisna varijabla  $X$  ili regresor ima  $i$  pojedinačna mjerenja koja se označavaju sa  $x_i$ . Kao zavisna varijabla u ovom slučaju korištene su vrijednosti vodostaja Save u metrima nad morem, dok su za nezavisnu varijablu korištene prosječne vrijednosti razine podzemne vode. Sukladno Tremljan (2019) jednadžba glasi:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i$$

gdje je:

$Y_i$  - procijenjena vrijednost za odnosnu vrijednost  $X_i$ ,

3 – 2

$b_0$  - odsječak na osi  $Y$

$b_1$  – koeficijent smjera pravca

$X$  - nezavisna varijabla.

Za procjenu usklađenosti regresijskog modela koristi se koeficijent determinacije  $R^2$ . To je vrijednost koja se kreće između 0 i 1, i kada  $R^2$  iznosi 0 to ne objašnjava nikakvu varijabilnost nezavisne varijable, no kada  $R^2$  iznosi 1 tada se savršeno objašnjava sva varijabilnost zavisne varijable. Postizanje  $R^2$  od 1 je rijetkost te općenito što je vrijednost  $R^2$  bliža 1, to model bolje opisuje podatke (tablica 3 – 1).



Tablica 3 – 1. Opis vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2$  prema Chadocku (Gulić, 2018; Tremljan, 2019).

Koeficijent determinacije $R^2$	Značenje
0,00	odsutnost veze
0,00 – 0,25	slaba veza
0,25 – 0,64	veza srednje jakosti
0,64 – 1,00	čvrsta veza
1,00	potpuna veza

### 3.3. Kroskorelacijska analiza

Kroskorelacija je statistička metoda koja utvrđuje sličnost između dvije varijable ili skupa podataka tako što se pomicanjem jedne varijable preko druge izračunava sličnost na svakoj poziciji. U konačnici kroskorelacija ukazuje na jačinu i smjer odnosa između dva slijeda kao funkciju vremenskog odmaka (*engl. lag*).

Kroskorelacija kvantificira razinu sličnosti između dvije varijable ili serije podataka. Mjeri se stupanj korelacije između dvije serije, uzimajući u obzir vremenski odmak između jedne i druge varijable. Postupak procjene te sličnosti za različite vremenske odmake naziva se kroskorelacija (Tremljan, 2019).

Pozitivna vrijednost kroskorelacije u određenom vremenskom odmaku ukazuje na to da dvije varijable teže povećanju ili smanjenju zajedno, dok negativna vrijednost ukazuje obrnuti odnos, što znači da jedna varijabla ima tendenciju povećanja kada se druga smanjuje.

Vremenski odmak u kojem kroskorelacija doseže svoju maksimalnu vrijednost naziva se: „vršna korelacija” ili „kašnjenje”. Ovo označava najbolju usklađenost između dvije varijable. Rezultati kroskorelacijske analize prikazuju se na kroskorelogramu.

Kroskorelacija se u hidrogeologiji može implementirati tako da se uspoređuju vremenski nizovi, kao što su to primjerice vremenski nizovi vodostaja rijeka i razine podzemne vode, uzastopnim pomacima jednoga vremenskog niza, čime se određuje vremensko zaostajanje između vremenskih nizova temeljem određene pozicije maksimalne ekvivalencije (Davis, 2002; Posavec i dr., 2017).

Za potrebe kroskorelacijske analize, korišteni su prosječni podaci razine podzemne vode sa piezometra P - 9, te vrijednosti vodostaja rijeke Save sa postaje Slavonski Brod u metrima nad morem. Kroskorelacijska analiza provedena je pomoću makroa u Excel-u (Posavec i dr., 2017). Prikaz ulaznih podataka i izračuna vidljiv je na slici 3 – 3. Definiranje pozicija izraženoga poklapanja vremenskih nizova, kao što su vodostaji rijeka i razine podzemne vode, ukazuje na vrijeme transporta tlaka podzemne vode koje je neizbježno da bi pojedini dio vodonosnika reagirao na porast vodostaja rijeke (Posavec, 2017).

A	B	Lag position	$r_{lag}$ (A leads B)	Lag position	$r_{lag}$ (B leads A)
82,04	80,62	0	0,854	0	0,854
82,03	80,57	1	0,891	-1	0,807
82,01	80,55	2	0,915	-2	0,760
82,02	80,52	3	0,923	-3	0,715
82,01	80,51	4	0,918	-4	0,673
81,98	80,50	5	0,910	-5	0,633
81,97	80,46	6	0,896	-6	0,596
82,05	80,42	7	0,877	-7	0,564
82,12	80,39	8	0,853	-8	0,536
82,12	80,37	9	0,827	-9	0,511
82,06	80,36	10	0,798	-10	0,489
81,97	80,36	11	0,768	-11	0,471
81,91	80,33	12	0,739	-12	0,460
81,86	80,31	13	0,711	-13	0,455
81,83	80,28	14	0,686	-14	0,457
81,82	80,24	15	0,663	-15	0,465
81,88	80,23	16	0,642	-16	0,479
81,93	80,26	17	0,626	-17	0,496
81,99	80,27	18	0,614	-18	0,515
82,08	80,29	19	0,607	-19	0,536
82,42	80,30	20	0,603	-20	0,555
82,7	80,30	21	0,605	-21	0,570
82,78	80,35	22	0,613	-22	0,578
82,66	80,39	23	0,626	-23	0,576
82,47	80,40	24	0,645	-24	0,568
82,3	80,39	25	0,666	-25	0,551
82,16	80,37	26	0,688	-26	0,523
82,09	80,32	27	0,709	-27	0,481
81,99	80,28	28	0,730	-28	0,422
81,91	80,24	29	0,746	-29	0,352
81,84	80,21	30	0,755	-30	0,281
81,8	80,17	31	0,752	-31	0,219
81,78	80,14	32	0,728	-32	0,169
81,75	80,11	33	0,691	-33	0,126
81,74	80,10	34	0,658	-34	0,090
81,83	80,07	35	0,626	-35	0,062
81,95	80,09	36	0,595	-36	0,042
81,95	80,09	37	0,564	-37	0,029

Slika 3 – 3. Prikaz tablice u jednom dijelu sučelja softvera korištenog za izračun kroskorelacije.

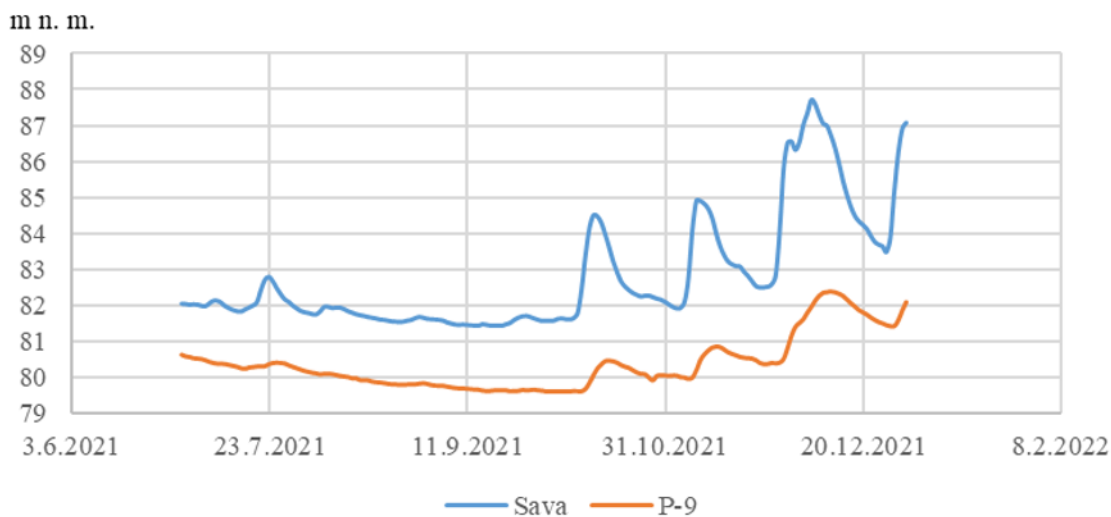
## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Korelacija

Korelacijom razine podzemne vode i vodostaja rijeke Save na području Slavenskog Broda ostvaren je koeficijent korelacije  $r$  koji iznosi 0,85 (slika 4 – 1). On ukazuje na pozitivnu, ali nepotpunu korelaciju. To se može potvrditi sa grafom (slika 4 – 2) gdje se lako može uočiti da je trend povećanja i smanjenja vodostaja rijeke Save skoro identično popraćen sa razinom podzemne vode na promatranoj bušotini.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,853858284						Koeficijent korelacije r	0,853858
R Square	0,729073969						Koeficijent determinacije R <sup>2</sup>	0,729074
Adjusted R Square	0,727585364							
Standard Error	0,388966938							
Observations	184							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	74,0998999	74,0999	489,77007	1,6923E-53			
Residual	182	27,53574078	0,151295					
Total	183	101,6356407						
	<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	47,92793641	1,466010094	32,69277	4,235E-78	45,0353752	50,8204976	45,03537523	50,82049758
X Variable 1	0,391726436	0,01770055	22,13075	1,692E-53	0,35680176	0,42665111	0,356801762	0,426651109

Slika 4 – 1. Prikaz regresijske analize, te koeficijenata korelacije i determinacije.



Slika 4 – 2. Odnos rijeke Save i razine podzemne vode s piezometra P - 9.

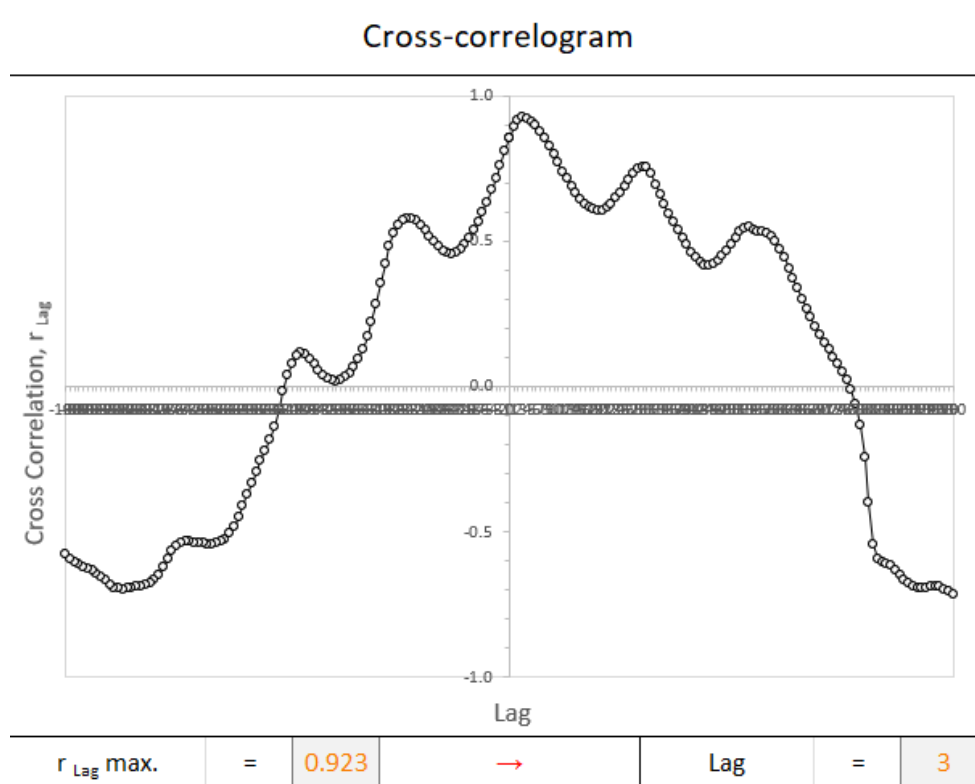
## 4.2. Regresija

Regresijskom analizom razine podzemne vode i vodostaja rijeke Save na području Slavenskog Broda dobiven je koeficijent determinacije  $R^2$  koji iznosi 0,73 (slika 4 – 1). Visoka vrijednost  $R^2$  ukazuje na čvrstu mogućnost predviđanja razine podzemne vode sukladno vrijednostima vodostaja rijeke Save.

Rezultati regresijske analize dostupne u aplikaciji Excel prikazani su na slici 4 – 1.

## 4.3. Kroskorelacija

Kao broj maksimalne pozicije zaostajanja ili odmaka uzeto je 100 dana i kroskorelacijska analiza pokazala je da u periodu od 3 dana ( $lag=3$ ) dolazi do najizraženije reakcije vodonosnika na porast vodostaja rijeke Save (slika 4 – 3). Maksimalni  $r_{lag}$  ( $r_{lagmax}$ ) odnosi se na točku na grafu kroskorelacije, gdje je korelacija između dvije varijable najveća na određenom kašnjenju između njih, a to je u ovom slučaju 0,923 (slika 4 – 3). To znači da postoji snažan odnos između vodostaja rijeke Save i vodonosnika na području istraživanja.



Slika 4 – 3. Kroskorelogram vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode.

## 5. ZAKLJUČAK

Odnos rijeke Save i razine podzemne vode na području Slavenskog Broda istražen je s tri statističke metode: korelacijom, regresijom i kroskorelacijom. Primijenjeni su podaci u razdoblju od 1.7.2021. – 31.12.2021.

Korelacijska analiza rezultirala je koeficijentom korelacije od 0,85 koji upućuje na pozitivnu, no nepotpunu korelaciju. Samim time odnos vodostaja Save i razina podzemne vode je usko povezan, drugim riječima povećanje ili sniženje vodostaja rijeke Save utječe na povećanje ili sniženje razine podzemne vode. Taj odnos je vizualno potvrđen gotovo identičnim krivuljama prikazanim na slici 4 – 2.

Regresijska analiza između vodostaja rijeke Save i razine podzemne vode rezultirala je koeficijentom determinacije od 0,73 što ukazuje na to da se korištenjem podataka o vodostajima i promatranog regresijskog modela može dobiti vrlo dobra procjena kretanja razine podzemne vode.

Kroskorelacijom istoimenih podataka prikazano je zakašnjenje razine podzemne vode za vodostajem rijeke Save od 3 dana, što upućuje na to da nakon tri dana dolazi do najizraženije reakcije vodonosnika na porast vodostaja rijeke Save. Maksimalna vrijednost korelacije od 0,923 ukazuje na vrlo jaku pozitivnu korelaciju između vodostaja rijeke Save i vodonosnika na promatranom području.

Sukladno provedenim statističkim metodama izvodi se zaključak da je vodostaj rijeke Save i visina podzemne vode na području Slavenskog Broda u visokom stupnju povezanosti, to jest da promjena u visini vode u rijeci Savi znatno utječe na razinu podzemne vode.

## 6. LITERATURA

EGPV 1988-2003. *Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Republike Hrvatske*. Fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Hrvatskih voda, Zagreb.

GULIĆ, A. 2018. *Korelacijsko, kroskorelacijsko i regresijsko modeliranje interakcije oborina i razina podzemne vode na području jugoistočnog dijela zagrebačkog vodonosnika*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 14 – 20.

NAKIĆ, Z., BAČANI, A., PARLOV, J., DUIĆ, Ž., PERKOVIĆ, D., KOVAČ, Z., TUMARA, D., MIJATOVIĆ, I. 2016. *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske*. Stručna studija. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 79 – 81.

POSAVEC, K., VUKOJEVIĆ, P., RATKAJ, M., BEDENIKOVIĆ, T. 2017. *Cross-correlation Modelling of Surface Water – Groundwater Interaction Using the Excel Spreadsheet Application*. The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 32 (1), str. 25-32. Znanstveni članak. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

TREMLJAN, A. 2019. *Identifikacija utjecaja oborina na istjecanje izvora Rakovac primjenom metoda korelacije, kroskorelacije i regresije*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 12 – 13.

### WEB STRANICE :

Državna geodetska uprava, 2023. URL: <http://geoportal.hr> (28.7.2023.)

Google, 2021. URL: <https://earth.google.com> (28.7.2023.)

Wikipedia, 2023. URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Korelacija> (21.7.2023.)

Wikipedia, 2023. URL: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Linearna\\_regresija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Linearna_regresija) (21.7.2023.)