

Identifikacija utjecaja oborina i mora na vodostaj Vranskog jezera na Cresu primjenom metoda korelacije, kroskorelacije i regeresije

Jovanović, Irina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:169:126789>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij hidrogeologije i inženjerske geologije

**IDENTIFIKACIJA UTJECAJA OBORINA I MORA NA VODOSTAJ VRANSKOG
JEZERA NA CRESU PRIMJENOM METODA KORELACIJE,
KROSKORELACIJE I REGERESIJE**

Diplomski rad

Irina Jovanović

G2223

Zagreb, 2024.

**IDENTIFIKACIJA UTJECAJA OBORINA I MORA NA VODOSTAJ VRANSKOG JEZERA NA
CRESU PRIMJENOM METODA KORELACIJE, KROSKORELACIJE I REGERESIJE**

Irina Jovanović

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

Sažetak

U ovom diplomskom radu istražuje se utjecaj oborina i mora na vodostaj Vranskog jezera na otoku Cresu. Vransko jezero smješteno je u središnjem djelu otoka Cresa te mu je pružanje uzdužne osi sjeverozapad-jugoistok. Jedini grad u radijusu od 15 km oko jezera je grad Cres, dok su ostala naselja u blizini jezera vrlo mala. Pri obradi podataka korišteni su hidrološki i meteorološki podaci koje je ustupio Državni hidrometeorološki zavod u razdoblju od osam godina (od 2013. do 2020.). Za provedbu analize koristile su se tri statističke metode: korelacija, regresija i kroskorelacija.

Ključne riječi: Vransko jezero, otok Cres, korelacija, regresija, kroskorelacija
Završni rad sadrži: 42 stranicu, 4 tablice, 37 slika i 19 referenci.
Jezik izvornika: Hrvatski
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb
Mentori: Prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Kristijan Posavec
Prof. dr. sc. Jelena Parlov
Izv. prof. dr. sc. Dario Perković

IDENTIFICATION OF RAINFALL AND SEA ON THE WATER LEVEL OF LAKE VRANA ON THE ISLAND OF CRES USING METHODS OF CORRELATION, REGRESSION AND CROSS-CORRELATION

Irina Jovanović

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of geology and geological engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This thesis examines the impact of rainfall and sea on the water level of Lake Vrana on the island of Cres. Lake Vrana is located in central part of the island of Cres and its longitudinal axis is stretching northwest-southeast. The only town within a radius of 15 km around the lake is the city of Cres, while the other settlements near the lake are very small. During data processing, hydrological and meteorological data provided by the State Hydrometeorological Institute for a period of eight years (from 2013 to 2020) were used. Three statistical methods were used to perform the analysis: correlation, regression and cross-correlation.

Keywords: Lake Vrana, island of Cres, correlation, regression, cross-correlation

Thesis contains: 42 pages, 4 tables, 37 figures, 19 references.

Original in: Croatian

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

Supervisors: Professor Kristijan Posavec, PhD

Reviewers: Professor Kristijan Posavec, PhD
Professor Jelena Parlov, PhD
Associated Professor Dario Perković, PhD

Posebno se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Kristijanu Posavcu na ukazanom povjerenju, trudu, dostupnosti i savjetima bez kojih ne bih mogla završiti ovaj rad.

Iskrene zahvale svakom profesoru, profesorici, asistentu, asistentici, stručnom suradniku, suradnici, kolegi i kolegici koji su oblikovali moje fakultetsko obrazovanje i naučili me svemu bitnom za struku ali i za život. Svakom kolegi i kolegici koji su postali prijatelj, nadam se za cijeli život, posebno hvala na zajedničkim učenjima, kavama, ohrabrivanjima i, naravno, druženjima.

Hvala prijateljima koji su bili tu još i prije mojeg fakultetskog obrazovanja. Vi ste bili, i nadam se ostat ćete, vjetar u leđa za postizanje svih novih ciljeva.

Najposebnije zahvale idu svim Jovanovićima, Bastama, Grabovcima, Puljizevićima i Blažinama. Bez vas, davno bih odustala od svojih snova i želja.

Najveća i najiskrenija zahvala ide mojem VAL-u. Vanja, Anđela, Luka...sve ste.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	3
2.1. Geografske značajke istraživanog područja	3
2.2. Geološke značajke istraživanog područja	5
2.3. Hidrogeološke i hidrološke značajke istraživanog područja	7
2.4. Gospodarske značajke istraživanog područja	9
3. METODE ISTRAŽIVANJA	11
3.1. Korelacija	12
3.2. Regresija	13
3.3. Kros-korelacija	16
4. KORIŠTENI PODACI I NJIHOVA OBRADA	17
4.1. Meteorološki podaci.....	17
4.2. Hidrološki podaci.....	21
4.3. Obrada podataka	24
5. IDENTIFIKACIJA UTJECAJA OBORINA I MORA NA VODOSTAJ VRANSKOG JEZERA NA CRESU – REZULTATI	26
5.1. Rezultati dobiveni korelacijskom analizom	26
5.2. Rezultati dobiveni regresijskom analizom	29
5.3. Rezultati kros-korelacijske analize	34
6. DISKUSIJA	38
7. ZAKLJUČAK	40
8. LITERATURA	41

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Vransko jezero iz zraka (Izvor: Vransko jezero – Tourist.hr)	3
Slika 2-2. Područje istraživanja prikazano na topografskoj karti mjerila M 1:100.000	4
Slika 2-3. Geologija otoka Cresa prema OGK List Cres M 1:100.00, Tumač za List Cres L33-113 (Magaš, 1973)	6
Slika 2-4. Hidrogeološka karta okolice istraživanog područja (Kuhta, 2004)	8
Slika 2-5. Zahvat vode na Vranskom jezeru.....	10
Slika 2-6. Shematski prikaz vodoopskrbnog sustava Cres-Lošinj	10
Slika 3-1. Dijagram raspršenosti za različite vrijednosti koeficijenta korelacije r_{jk} (Kontić, 2015.).....	13
Slika 4-1. Meteorološke postaje prikazane na topografskoj karti mjerila M 1:100.000.....	18
Slika 4-2. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Pula-Aerodrom	19
Slika 4-3. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Rabac	19
Slika 4-4. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Hreljin.....	19
Slika 4-5. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Novi Vinodolski	20
Slika 4-6. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Malinska	20
Slika 4-7. Hidrološke postaje prikazane na topografskoj karti mjerila M 1:100.000.....	22
Slika 4-8. Nivogram za hidrološku postaju C. P. Vrana.....	23
Slika 4-9. Nivogram za hidrološku postaju Martinšćica, more	23
Slika 4-10. Odnos između nivograma s hidrološke postaje C. P. Vrana i Martinšćica, more	24
Slika 4-11. Zadavanje naredbi CORREL i RSQ u programu Excel.....	25
Slika 4-12. Prikaz namjenski izgrađenog programa za kros-korelacijsku analizu	25
Slika 5-1. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i mora.....	26
Slika 5-2. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na meteorološkoj postaji Pula-Aerodrom.....	27
Slika 5-3. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Rabac	27
Slika 5-4. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Hreljin	28
Slika 5-5. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Novi Vinodolski.....	28

Slika 5-6. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Malinska.....	29
Slika 5-7. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i mora.....	30
Slika 5-8. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na meteorološkoj postaji Pula-Aerodrom.....	31
Slika 5-9. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Rabac	32
Slika 5-10. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Hreljin	32
Slika 5-11. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Novi Vinodolski.....	33
Slika 5-12. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Malinska.....	33
Slika 5-13. Kros-korelogram vodostaja Vranskog jezera i mora	34
Slika 5-14. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na meteorološkoj postaji Pula-Aerodrom.....	35
Slika 5-15. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Rabac	36
Slika 5-16. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Hreljin	36
Slika 5-17. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Novi Vinodolski.....	37
Slika 5-18. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Malinska.....	37

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Opis vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 prema Chadocku (Gulić, 2018)	15
Tablica 4-1. Koordinate korištenih meteoroloških postaja gdje su h – nadmorska visina (m n.m.), ϕ – geografska širina ($^\circ$) i λ – geografska dužina ($^\circ$)	17
Tablica 4-2. Koordinate korištenih hidroloških postaja gdje su h – nadmorska visina (m n.m.), ϕ – geografska širina ($^\circ$) i λ – geografska dužina ($^\circ$)	21
Tablica 5-1. Rezultati regresijske analize vodostaja Vranskog jezera i oborina na pet različitih meteoroloških postaja.....	31

1. UVOD

U ovom diplomskom radu istraživao se utjecaj oborina i mora na vodostaj Vranskog jezera na otoku Cresu. Vransko jezero na otoku Cresu godinama je bilo poznato kao geološki fenomen za kojeg se ne može sa sigurnošću reći na koji način se puni slatkom vodom te je li povezano podzemnim putevima s obližnjim morem. U ovom radu se pokušala odrediti povezanost sustava jezera s oborinama koje padnu na okolno područje (u radijusu do 50 km) te s morem koje je udaljeno od jezera u rasponu od 3 do 5 km primjenom statističkih metoda. Jačina povezanosti, međusobna ovisnost te mjera sličnosti između navedenih sustava jasno se mogu opisati pomoću korištenih statističkih metoda korelacije, regresije i kros-korelacije.

Glavni cilj statističke metode korelacije je dobivanje koeficijenta korelacije (r_{jk}) koji mjeri jačinu odnosa između dviju varijabli i izražava njihov linearni odnos (npr. sustav jezera u ovisnosti s oborinama). Ukoliko varijable kojima je dokazana međusobna korelacijska ovisnost želimo detaljnije analizirati, koristi se regresijska analiza. Za ovu analizu potrebno je poznavati lokacije ili vremena mjerenih podataka te je također bitna i tendencija samih mjerenja. Za usporedbu dvaju nizova podataka, koji imaju vremensku ovisnost, koristi se statistička metoda kros-korelacije. Pomoću nje se definira mjera sličnosti dviju varijabli, odnosno određuje se koliko dvije varijable koreliraju s obzirom na to koliko jedna varijabla zaostaje za drugom (npr. koliko će vremena proći da se vodostaj jezera povisi nakon događaja oborine).

Neki od sljedeće spomenutih autora, u svojim su radovima istraživali Vransko jezero na otoku Cresu te koristili navedene statističke metode.

Kuhta (2004) se u svojem radu bavi genezom i karakteristikama Vranskog jezera. Rezultati istraživanja pokazali su da je Vransko jezero u početku bilo krško polje te da se finalna faza formiranja jezera dogodila na kraju pleistocena (Würm oledba). Također, dvije potencijalne lokacije pražnjenja jezera su vrulje Vratak i Valun no ne može se sa sigurnošću dokazati veza s obližnjim morem.

Bonacci (2018) je u svojem radu analizirao odnos i ponašanje dnevnih razina podzemne vode mjerenih u tri duboka piezometra i vodostaja Vranskog jezera. Piezometri se nalaze na istočnoj obali jezera na udaljenosti u rasponu od 330 m do 790 m od jezera. Dobiveni koeficijent korelacije, za parove piezometara, bio je vrlo visok što je ukazivalo na to da je ponašanje razine podzemne vode u tri piezometra bilo gotovo identično. Rezultati analiza pokazali su da razina podzemne vode u piezometrima brže raste od vodostaja jezera.

Škudar (2016) u svojem radu, pomoću spomenutih statističkih metoda, analizira hidrauličke veze rubnih dijelova zagrebačkog vodonosnika, karakteriziranih proluvijalnim naslagama, sa središnjim dijelovima vodonosnika, karakteriziranim aluvijalnim naslagama. Dobiveni rezultati koeficijenta korelacije ukazali su na vrlo dobru hidrauličku povezanost naslaga. Također, donio je zaključak da se pomoću linearnih regresijskih modela mogu prognozirati razine podzemne vode u proluvijalnom dijelu vodonosnika pomoću razina podzemne vode u aluvijalnom dijelu no s niskom pouzdanošću.

Gulić (2018) je u svojem radu istraživala zavisnost razina podzemne vode i oborina na području jugoistočnog djela zagrebačkog vodonosnog sustava. Dobiveni korelacijski koeficijenti ukazali su na vrlo slabu hidrauličku vezu između oborina i jugoistočnog djela zagrebačkog vodonosnika. Nastavno na korelacijsku analizu, dobiveni regresijski modeli nepouzdan su za prognoziranje razina podzemne vode. Kros-korelacijskom analizom dobivena su različita vremena zaostajanja odnosno prijenosa tlaka.

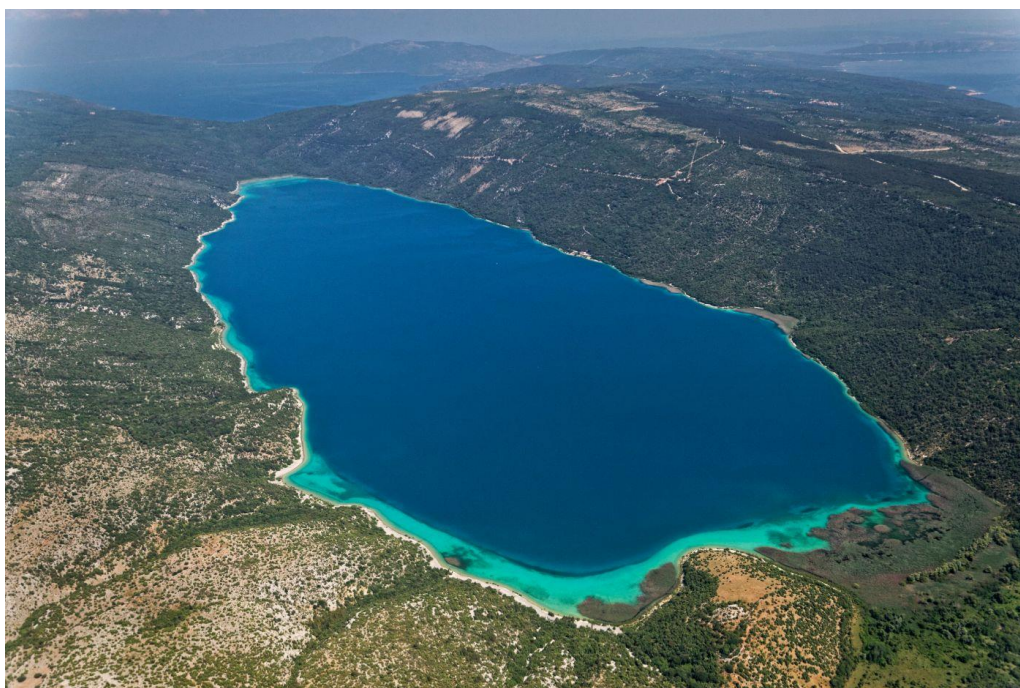
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Geografske značajke istraživanog područja

Vransko jezero predstavlja prirodni slatkovodni sustav pozicioniran u središnjem dijelu otoka Cresa (slika 2-1). Pruža se u pravcu sjeverozapad-jugoistok te su mu maksimalne dimenzije 5,5 km u duljinu, 1,45 km u širinu te 74,4 m u dubinu (Kuhta, 2004).

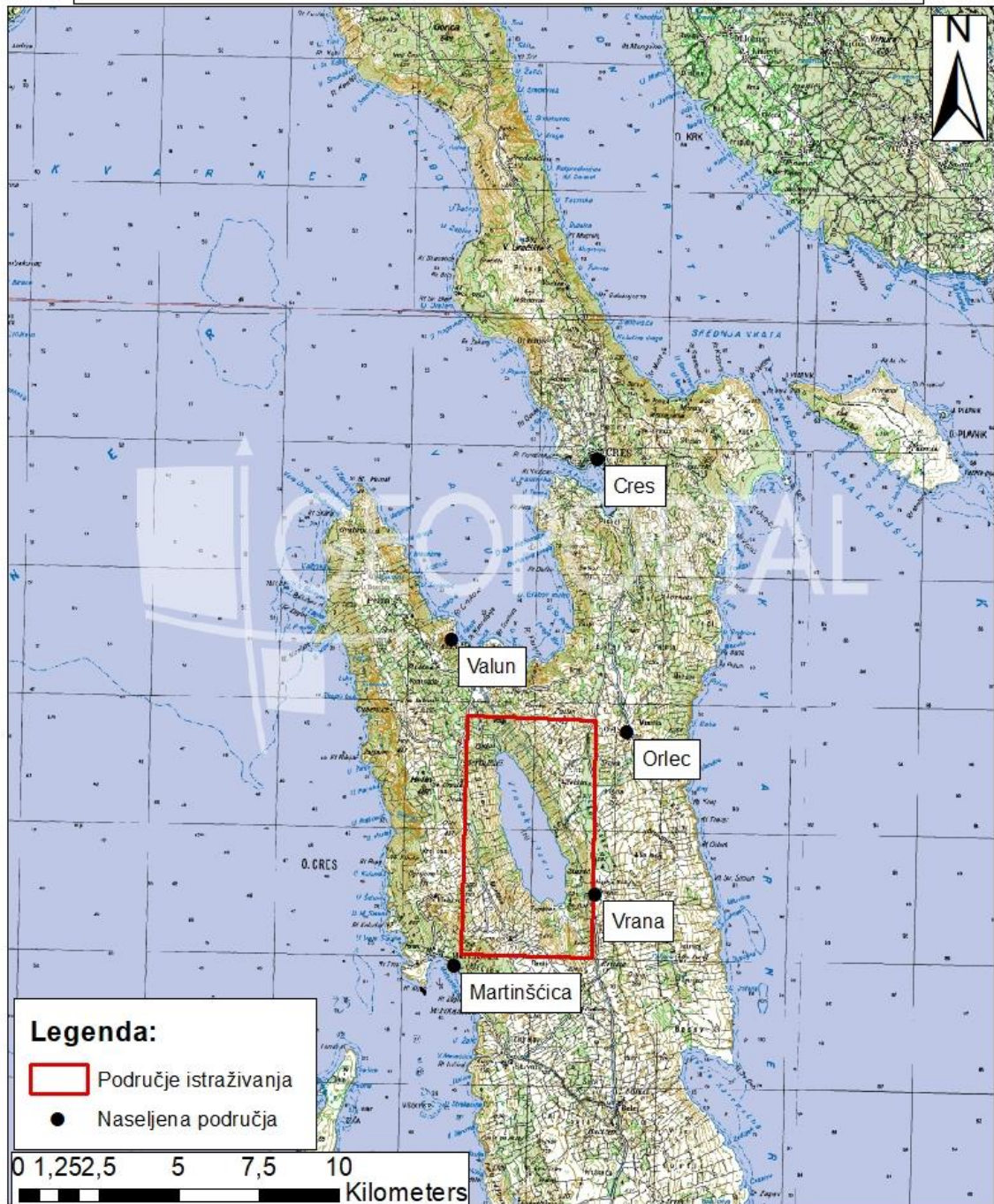
Samo jezero je dobilo ime po malom naselju Vrana podno kojeg se nalazi jezero. Danas ono ne broji stalne stanovnike no služi kao centar istraživanja i iskorištavanja (u smislu vodoopskrbe i odvodnje) Vranskog jezera. Od ostalih naselja, u radijusu od 15 km u krugu jezera, navedena su ona najveća (više od 50 stalnih stanovnika). Naselje Orlec nalazi se na udaljenosti od 4,2 km sjeveroistočno od jezera te mu je populacija prema popisu stanovništva iz 2021. godine 88 stalnih stanovnika. 4,7 km jugozapadno od jezera nalazi se naselje Martinšćica te ono broji 103 stalnih stanovnika, također prema popisu iz 2021. godine. Na udaljenosti od 6,2 km u pravcu sjeverozapada, nalazi se naselje Valun s populacijom od 64 stanovnika. Jedini grad u radijusu od 15 km oko jezera je grad Cres. On se nalazi na 12 km od jezera te mu, prema zadnjem popisu stanovništva, populacija iznosi 2185 stanovnika (slika 2-2).

Jezero ne služi kao turistička atrakcije te nije dozvoljen pristup ukoliko nema propusnice od strane odgovornog društva. Iako je oko jezera postavljena ograda, često se događaju nedozvoljene posjete stranih turista tijekom ljetnih mjeseci.



Slika 2-1. Vransko jezero iz zraka (Izvor: Vransko jezero – Tourist.hr)

Područje istraživanja prikazano na topografskoj karti
mjerila M 1:100.000

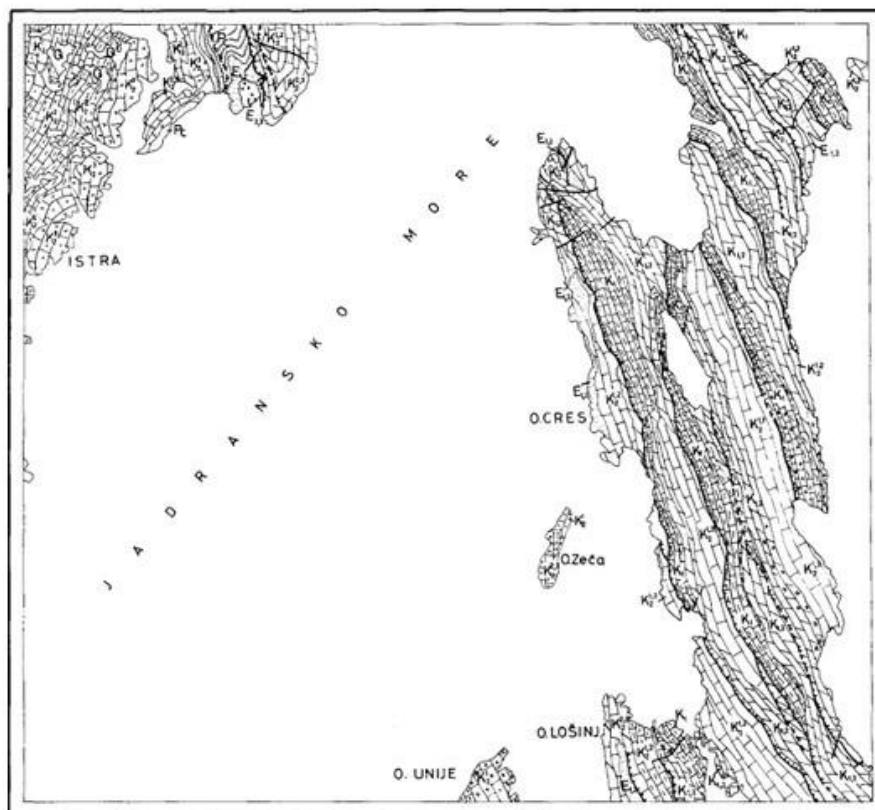


Slika 2-2. Područje istraživanja prikazano na topografskoj karti mjerila M 1:100.000

2.2. Geološke značajke istraživanog područja

Prema Šegota i Filipčić (2001), Vransko jezero je gornjovirmsko-holocensko jezero, staro otprilike 17 900 godina, a nastalo je kao posljedica raznih tektonskih pokreta. U strukturno-tektonskom smislu, otok Cres pripada Jadranskoj karbonatnoj platformi (Herak, 1991). Prema Magaš (1973), krajem eocena nastupaju značajni tektonski pokreti koji su za posljedicu imali dijeljenje područja sjevernog Jadrana u 3 tektonske jedinice. To su: a) tektonsko područje mirnih struktura (zapadni dio Istre); b) tektonsko područje navlaka (sjeverni dio istočne Istre) i c) tektonsko područje izoklinalnih bora (Kvarnerski otoci Cres i Lošinj). Upravo su takve izoklinalne i navlačne bore karakteristične za rub Jadranske karbonatne platforme na kojem se nalaze otoci Cres i Lošinj. Generalni smjer prostiranja struktura je dinarski (sjever-sjeverozapad/jug-jugoistok), a to je ujedno i smjer uzdužne osi samog jezera (Biondić et al., 1995). Depresija Vranskog jezera otvorena je duž uzdužnog relaksacijskog rasjeda nakon promjene smjera stresa te je to omogućilo vertikalnu cirkulaciju vode i, kasnije, stvaranje samog jezera.

Sam otok Cres, na kojem se jezero nalazi, izgrađen je pretežito od naslaga karbonatnih stijena kredne i paleogenske starosti (slika 2-3). Najstarije naslage pripadaju donjokrednim vapnencima s lećama breča i dolomita (Magaš, 1973). Donjokredni vapnenci nalaze se na zapadnoj strani Vranskog jezera, a prepoznatljivi su po svojoj sivoj, sivo-smeđoj do tamnosmeđoj boji i savršenoj uslojenosti. Također, mjestimično su pločasti uz kontakt s dolomitima te im debljina sloja varira od 20 do 100 cm. Manje ili veće leće donjokrednog dolomita također se mogu pronaći na zapadnoj strani jezera. Uslojenost im je dobro razvijena, boja se kreće od sive do sivo-smeđe, a debljina varira od 5 do 60 cm. U gornjem eocenu talože se klastične naslage fliša te su to većinom lapori u izmjeni s vapnencima i brečama debljine oko 200 m. Na njima leže numulitne breče debljine od 10 do 15 m. Takav odnos naslaga rezultirao je gotovo u potpunosti očuvanjem laporovitih naslaga od utjecaja erozije. Tijekom kvartara, stvoreni su idealni uvjeti za nastanak crvenice te je uz nju sveprisutan i eolski sediment nastao u delti rijeke Po.



Q Zemlja crvenica	K₂² Uslojeni vapnenci
E_{2,3} Fliš	K₂^{1,2} Uslojeni, pločasti i grebenski vapnenci
E_{1,2} Foraminiferski vapnenci	K₂¹ Gromadasti vapnenci
Pc Liburnijske naslage	K₂¹ Uslojeni vapnenci
K₂³ Vapnenci s lećama pločastih vapnenaca	K_{1,2} Dolomiti s lećama vapnenaca i breča
K₂^{2,3} Vapnenci s lećama grebenskih i pločastih vapnenaca	K₁ Vapnenci s lećama breča i pločastih vapnenaca

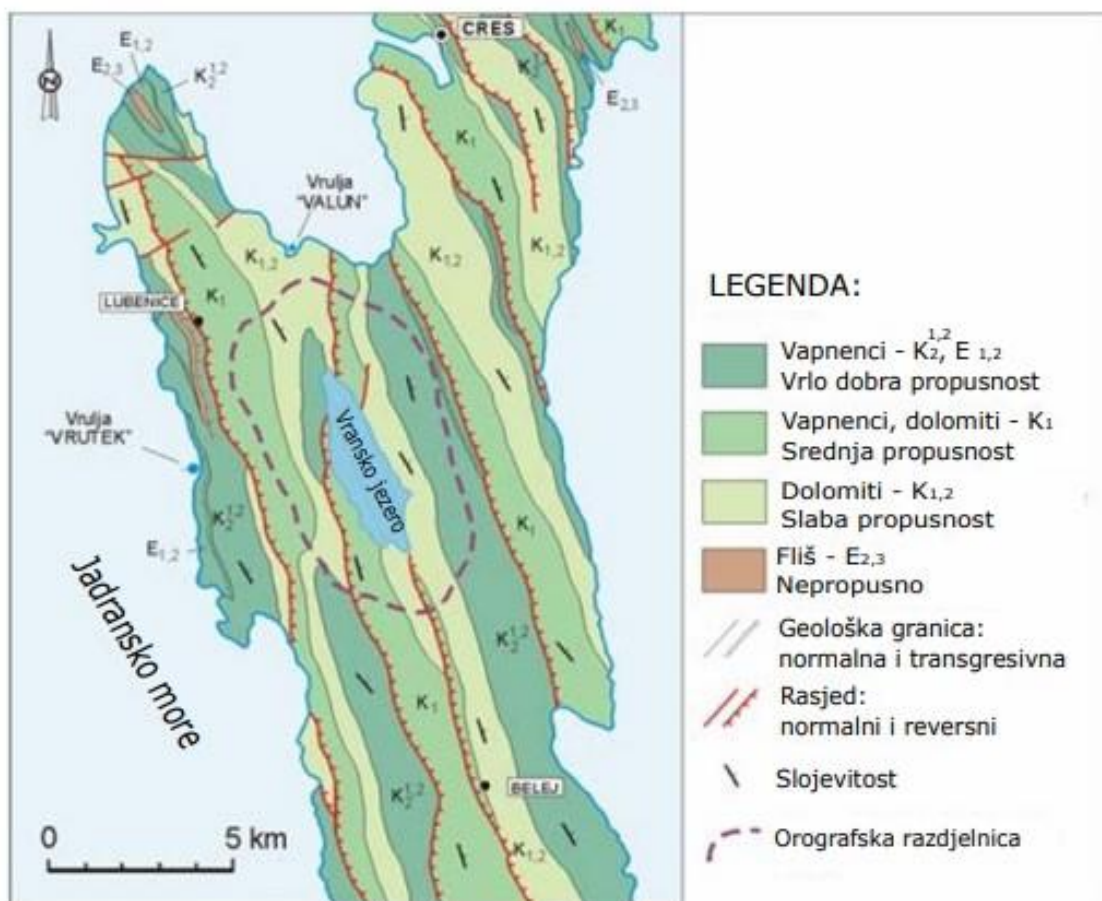
Slika 2-3. Geologija otoka Cresa prema OGK List Cres M 1:100.00, Tumač za List Cres L33-113 (Magaš, 1973)

2.3. Hidrogeološke i hidrološke značajke istraživanog područja

Za vrijeme posljednje oledbe Würm, morska razina je bila oko 100 m niža te je kompletno područje sjevernog Jadrana (pa tako i područje otoka Cresa) bilo kopno, odnosno delta rijeke Po (Biondić et al., 1995). Depresija, koja danas čini jezero, tada je predstavljala krško polje u koje su se vode s lokalnog sliva kontinuirano slijevale, a ponirale su na mjestu tadašnjeg najdubljeg dijela jezera. To je potvrđeno otkrivanjem međuslojeva paleosola u jezerskim sedimentima, odnosno otkrivena je interakcija dva različita taložna okoliša u prostornoj blizini (Kuhta, 2004). Podizanjem razine mora, došlo je do potiskivanja slatke vode prema kontinentalnom području. Slabo propusne naslage dolomita, koje su po starosti na prijelazu iz donje u gornju kredu, te srednje propusne naslage donjokrednih vapnenaca i dolomita okružuju depresiju jezera u takvom strukturnom odnosu da čine savršenu barijeru za brzi protok slatke vode (slika 2-4). Upravo to je rezultiralo usporavanjem cirkulacije vode i zatvaranjem samog jezera. Uz slabo propusne dolomite i srednje propusne dolomite i vapnence, jezero okružuju i gornjokredni vapnenci s visokim stupnjem okršenosti. Oni predstavljaju vrlo dobro propusne naslage, dok su jedine potpuno nepropusne naslage oko jezera, lokalne naslage fliša. Zaključno, u genetskom smislu, Vransko jezero predstavlja potopljeno krško polje nakon dizanja mora u Mediteranu (Biondić et al., 1995).

Samo jezero danas predstavlja kriptodepresiju te mu se dno nalazi na maksimalnoj dubini od 74,4 m od čega je 61,3 m ispod razine Jadranskog mora (Kuhta, 2004). Kao glavna problematika u razumijevanju funkcioniranja jezera, nametnulo se pitanje porijekla vode. Njome su se znanstvenici bavili još od sredine devetnaestog stoljeća te su se vodile brojne rasprave i nudila različita rješenja. Kao dvije glavne teorije, istaknule su se teorija o prihranjivanju jezera vodom s kopna i teorija o prihranjivanju vode isključivo sa sliva koji se nalazi na samom otoku Cresu. Danas je sveopće prihvaćena druga teorija te su autori poput Bonacci (1993.) i Ožanić (1996.) dokazali svoje tvrdnje različitim metodama hidrološkog bilanciranja voda. Također, Šegota i Filipčić (2001) su jedni od autora koji su analizom izotopa dokazali da izmjena vode u jezeru iznosi približno trideset godina što također podupire istu teoriju.

Prema limnološkim obilježjima, Vransko jezero se svrstava u srednje velika i duboka jezera umjerenog klimatskog područja, a zimi se ne zaleđuje (Kuhta, 2004). U potpunosti je oligotrofno, odnosno odlikuje se malim do vrlo malim sadržajem hranjivih biogenih materijala. Iz tog razloga, voda u jezeru je iznimno čista te bakterija gotovo ni nema. Također, prema termičkoj klasifikaciji, u jezeru se vrši miješanje cjelokupne vodene mase (od površine do dna) jednom godišnje što je odlika monomiktičnog karaktera jezera.



Slika 2-4. Hidrogeološka karta okolice istraživanog područja (Kuhta, 2004)

2.4. Gospodarske značajke istraživanog područja

Vransko jezero glavni i jedini je izvor slatke vode na cjelokupnom cresko-lošinjskom arhipelagu. Osim otoka Cresa, Vransko jezero opskrbljuje i otoke Lošinj, Unije, Susak, Vele i Male Srakane te Ilovik. Sveukupno na spomenutim područjima, prema popisu stanovništva iz 2021. godine, živi 10 253 stanovnika, što čini 3,9% ukupnog stanovništva Primorsko-goranske županije (Matković, 2022).

Jezerom i njegovim iskorištavanjem, u svrhu vodoopskrbe i odvodnje, upravlja trgovačko društvo pod nazivom „Društvo Vodoopskrba i odvodnja Cres Lošinj d.o.o.“ sa sjedištem u gradu Cresu. Temeljna djelatnost Društva je vodoopskrba i odvodnja otpadnih voda što uključuje poslove zahvaćanja, pročišćivanja i isporuke vode za piće, poslove odvodnje i pročišćivanja otpadnih voda te zbrinjavanje fekalija iz septičkih i sabirnih jama. Razvoj i izgradnja vodoopskrbnog sustava na području otoka Cresa i Lošinja započela je netom nakon II. Svjetskog rata. Princip odvodnje vode bazira se na zahvaćanju vode iz jezera te putem crpne stanice Vrana, transportiranju vode u vodospremu Vrana I (slika 2-5). Vodosprema je povezana s dva glavna ogranka, sjeverni duljine oko 17 km i južni duljine oko 45 km (Matković, 2022). Pomoću njih se voda iz vodospreme gravitacijski dovodi u sva naselja sjeverno i južno od jezera (slika 2-6). Prvo otočko naselje koje je dobilo vodovod, 1952. godine, je naselje Orlec na otoku Cresu. Grad Cres je dobio vodu 1953., Belej 1955., Mali Lošinj 1960., a Veli Lošinj 1963. godine. Ostala naselja koja su povezana glavnim ili sporednim ograncima su Valun, Zbičina, Pernat, Lubenice, Krčina, Loznati, Vrana, Ustrine, Miholašćica, Stivan, Martinšćica, Osor, Punta Križa, Nerezine, Sveti Jakov i Čunski. Otok Ilovik, koji se nalazi 2,5 km južno od otoka Lošinja, također se opskrbljuje vodom iz južnog ogranka te je spojen podmorskim cjevovodom s otokom Lošinjem. Otoci Susak, Unije, Vele i Male Srakane opskrbljuju se vodom pomoću broda vodonosca.

Kvaliteta vode iz Vranskog jezera je po svojim fizičko-kemijskim svojstvima izuzetna te nije potrebna nikakva dodatna prerada osim dezinfekcije. Također, monitoring kvalitete vode na izvorištu, zdravstvene ispravnosti vode te kontrola dezinfekcije provodi se prema Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju (NN 30/23) te prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju (NN 125/17). Posljednje mjerenje kvalitete vode obavljeno je u veljači 2024. te su neki od parametara sljedeći: temperatura vode 11,5°, mutnoća vode 0,89 NTU, pH vrijednost 8,1, vodljivost 427 uS/cm/20oC (preuzeto iz: <https://www.viocl.hr/kvaliteta-vode-za-pice>, datum: 07.09.2024.).

3. METODE ISTRAŽIVANJA

Svaki vodonosni sustav je u interakciji s rubnim uvjetima koji direktno utječu na promjenu razine podzemne vode u sustavu. Kako bi se odredile značajke veze između sustava i rubnih uvjeta, najčešće se koriste statističke metode korelacije, kros-korelacije i regresije. Pomoću navedenih metoda, vrlo jednostavno, moguće je dobiti jačinu veze između promatranih varijabli, vrijeme potrebno za reakciju sustava na promjenu rubnih uvjeta te čak predviđati događaje u vodonosnom sustavu. Također, svi prikupljeni podaci koji se odnose na razine podzemne vode i rubne uvjete, bilo da se radi o procjeđivanju vode iz oborina ili napajanju sustava iz drugih izvora, predstavljaju vremenske nizove podataka (Gulić, 2018). S obzirom na učestalost mjerenja u hidrološkim i hidrogeološkim istraživanjima, navedeni podaci najčešće sadrže vrlo veliku količinu mjerenja koje je potrebno analizirati. Iz tog razloga, u analizi vremenskih nizova podataka nužno je koristiti neke od statističkih metoda kako bi cijeli proces bio što točniji i brži. Kako bi se principi metoda što bolje objasnili, nužno je navesti značenja nekih od najčešće korištenih parametara u statistici. Oni su, uz opis samih metoda, u najkraćim crtama navedeni u nastavku.

Najčešće korišten parametar za ocjenu nekog seta u statistici je srednja vrijednost (Posavec i Škudar, 2016). Ona se može prikazati kao **mod**, vrijednost koja se najučestalije pojavljuje unutar seta podataka, **medijan**, vrijednost od koje je polovica podataka veća, a druga polovica manja, te kao **aritmetička sredina**, vrijednost koja predstavlja sumu svih podataka podijeljenu s ukupnim brojem podataka. Prilikom ocjene širenja ili disperzije podataka oko aritmetičke sredine, koriste se parametri **varijanca** i **standardna devijacija**. Varijanca predstavlja srednje kvadratno odstupanje seta podataka od njegove aritmetičke sredine, dok je standardna devijacija drugi korijen iz varijance. Svi navedeni parametri koriste se za opisivanje seta podataka za jednu varijablu. Kako se u hidrogeološkim istraživanjima najčešće promatraju dvije ili više varijabli, potrebno je pojasniti i parametar **kovarijanca**. Ona se koristi za ocjenu širenja ili disperzije seta podataka dviju varijabli oko njihove zajedničke aritmetičke sredine.

3.1. Korelacija

Stupanj statističke povezanosti između dvije varijable izražava se pomoću korelacijske analize. Glavni rezultat korelacijske analize predstavlja koeficijent korelacije (r_{jk}) pomoću kojeg se, uz jačinu veze, može odrediti i linearni odnos između dvije varijable. Koeficijent korelacija predstavlja odnos između kovarijanca dvije varijable i umnoška njihovih standardnih devijacija (Davis, 2002).

$$r_{jk} = \frac{cov_{jk}}{s_j \times s_k} \quad (3-1)$$

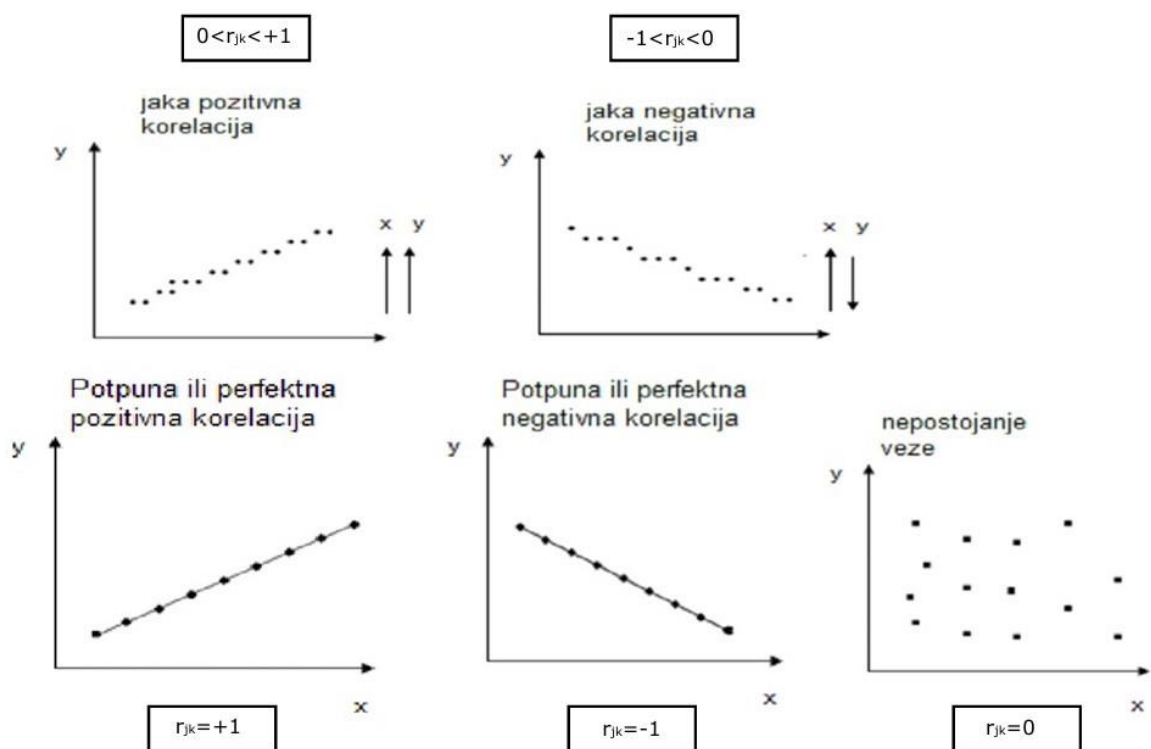
gdje su: r_{jk} – koeficijent korelacije (bezdimezionalna veličina),

cov_{jk} – kovarijanca dviju varijabli,

s_j – standardna devijacija varijable j ,

s_k – standardna devijacija varijable k .

Budući da kovarijanca dviju varijabli može biti jednaka umnošku standardnih devijacija dviju varijabli, no ne može biti veća, koeficijent korelacije kreće se u rasponu od -1 do +1 (Posavec i Škudar, 2016). Ukoliko varijable j i k imaju pozitivnu korelaciju, odnosno kod porasta vrijednosti j rastu i vrijednosti k , r_{jk} bit će blizak +1. U obrnutom slučaju, ako j i k imaju negativnu korelaciju, odnosno porastom vrijednosti k padaju i vrijednosti j , r_{jk} bit će blizak -1. Ukoliko r_{jk} iznosi točno +1, radi se o savršenoj pozitivnoj vezi. Također, ako r_{jk} iznosi točno -1, radi se o savršenoj negativnoj vezi. U slučaju da varijable j i k imaju vrlo slabu vezu ili je nema, r_{jk} bit će blizak 0 (slika 3-1).



Slika 3-1. Dijagram raspršenosti za različite vrijednosti koeficijenta korelacije r_{jk} (Kontić, 2015.)

3.2. Regresija

Ukoliko se za r_{jk} dobije rezultat koji se može prikazati kao linearni odnos dvije varijable, vrlo lako se iz njega može odrediti linija ovisnosti između tih varijabli. Upravo to je jedan od glavnih interesa regresijske analize. Također, regresija se koristi pri analizi setova podataka koji su uređeni u prostoru ili vremenu stoga je nužno poznavati lokacije ili vremena samih mjerenja, odnosno setova podataka. Uz lokacije i vremena, nužno je poznavati i tendenciju mjerenja koja se koristi za interpolaciju između mjerenja, ekstrapolaciju izvan mjerenih podataka te donošenju određenih zaključaka (Posavec i Škudar, 2016).

Varijabla koja se istražuje, zavisna varijabla, naziva se regresirana varijabla i označava se s Y . Pojedinačna mjerenja zavisne varijable označavaju se s y_i te se odstupanja u procesu određivanja linije ovisnosti svode na minimum (Tremljan, 2019). Nezavisna varijabla označava se s X i naziva se regresor. Pojedinačna mjerenja nezavisne varijable označavaju se s x_i . Jednadžba podešene linije ovisnosti stoga glasi:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 \times x_i \quad (3-2)$$

gdje je: \hat{y}_i – procijenjena vrijednost y_i za odnosnu vrijednost x_i ,
 b_0 – odsječak na osi y ,
 b_1 – koeficijent smjera pravca.

Finalni rezultat regresijske analize je definiranje koeficijenta determinacije R^2 . On predstavlja mjeru podešenosti linije, tj. regresijskog modela, odnosno mjeru korisnosti modela te određuje postotak podataka koji se pouzdano mogao opisati regresijskim modelom. Kako bi se koeficijent determinacije odredio, potrebno je definirati dva termina koji služe za opisivanje promjene nezavisne varijable (Y). Prvi termin, ukupna suma kvadrata SS_T od Y , opisuje odstupanje pojedinačnih mjerenja zavisne varijable Y od njihove aritmetičke sredine.

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \quad (3-3)$$

gdje je: y_i – pojedinačna mjerenja zavisne varijable Y ,
 \bar{Y} - aritmetička sredina pojedinačnih mjerenja zavisne varijable Y .

Drugi termin označava se s SS_R , a određuje se kao suma kvadrata zbog regresije. On opisuje odstupanje procijenjenih, odnosno prognoziranih vrijednosti zavisne varijable Y od njihove aritmetičke sredine.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{Y})^2 \quad (3-3)$$

gdje je: \hat{y}_i – procijenjena vrijednost y_i za odnosnu vrijednost x_i ,
 \bar{Y} - aritmetička sredina pojedinačnih mjerenja zavisne varijable Y .

Finalno, mjera podešenosti linije ovisnosti, odnosno mjera korisnosti modela definira se pomoću jednadžbe:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (3-4)$$

gdje je: R^2 – koeficijent determinacije.

Koeficijent determinacije predstavlja mjeru koliko dobro regresijski model reprezentira mjerene podatke i određuje pouzdanost prognoziranja zavisne varijable u ovisnosti o nezavisnoj, pomoću regresijskog modela (Posavec i Škudar, 2016). Vrijednost koeficijenta determinacije daje postotak mjerenih podataka koji su najbliže podešenoj liniji. Ukoliko podešena linija dobro reprezentira mjerene vrijednosti, koeficijent determinacije bit će blizak 1, a u obrnutom slučaju R^2 bit će blizak 0. Tablica 3-1 prikazuje Chadockovu ljestvicu koeficijenta determinacije R^2 prema Chadocku.

Tablica 3-1. Opis vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 prema Chadocku (Hinkle i Wiersma, 2003)

Koeficijent determinacije R^2	Značenje
0,00 - 0,30	odsutnost veze
0,30 - 0,50	slaba veza
0,50 - 0,70	veza umjerene jakosti
0,70 - 0,90	jaka veza
0,90 - 1,00	vrlo jaka veza

3.3. Kros-korelacija

Kros-korelacijskom analizom određuje se mjera sličnosti dvaju niza podataka. Točnije rečeno, definira se stupanj do kojeg dva niza koreliraju s obzirom na zaostajanje jedne varijable u odnosu na drugu. Prema Davis (2002), proces usporedbe dvaju niza podataka za svako uzastopno zaostajanje naziva se kros-korelacija. Takva analiza najčešće se primjenjuje za usporedbu dva niza podataka koji imaju vremensku ovisnost. Jačina veze između dva niza definira se pomoću koeficijenta korelacije r . Koeficijent se računa za svako uzastopno zaostajanje, dok najveći određeni koeficijent korelacije određuje vremensko zaostajanje između dva vremenska niza. Kako bi se analiza mogla provesti, nužno je da mjerenja vremenskih nizova međusobno odgovaraju, odnosno mjerenja moraju biti obavljena u isto vrijeme. Nulto zaostajanje predstavlja poravnanje dva vremenska niza na isto, početno vrijeme mjerenja (Posavec i Škudar, 2016). Usporedba se radi, kako za nulto, tako i za svako sljedeće usporedno zaostajanje, pri čemu vremenski niz A slijedi vremenski niz B i obrnuto.

Koeficijent korelacije r određuje jačinu veze dvaju vremenskih niza podataka te se određuje pomoću jednadžbe koja se primjenjuje i kod obične linearne korelacije (vidi jednadžbu 3-1). Jednadžba se primjenjuje samo na dijelove dva vremenska niza koji se preklapaju. Iz tog razloga, maksimalni broj pozicija koje se preklapaju iznosi $n - 2$, pri čemu n predstavlja broj podataka u danim vremenskim nizovima. Rezultati kros-korelacijske analize prikazuju se na kros-korelogramu.

4. KORIŠTENI PODACI I NJIHOVA OBRADA

Podaci korišteni prilikom izrade rada svrstavaju se u meteorološke i hidrološke podatke. Meteorološki podaci su podaci o dnevnim oborinama za pet različitih meteoroloških stanica u krugu od 50 km od istraživanog područja. Hidrološki podaci predstavljaju dnevne vodostaje na dvije hidrološke stanice, uključujući stanicu na samom jezeru. Vremensko razdoblje koje se analiziralo je osmogodišnje razdoblje od 2013. do 2020. godine. Podatke je ustupio Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske.

4.1. Meteorološki podaci

Meteorološke stanice, za koje su uzeti podaci o dnevnim oborinama, su Pula-Aerodrom, Rabac, Hreljin, Novi Vinodolski i Malinska. Stanica Pula-Aerodrom je glavna meteorološka postaja, dok su Hreljin, Novi Vinodolski i Malinska kišomjerne postaje, a Rabac je uz kišomjerni postaju i postaja za mjerenje temperature mora. Koordinate meteoroloških postaja nalaze se u Tablici 4-1 dok se njihovi položaji prikazani na karti nalaze na slici 4-1.

Na slikama 4-2. – 4-6. prikazani su pluviogrami. Pluviogram predstavlja odnos količine oborina u mm i vremena. Pomoću takvog grafičkog prikaza, vrlo lagano se uočavaju intenzivni događaji oborine te se sami podaci lakše uspoređuju.

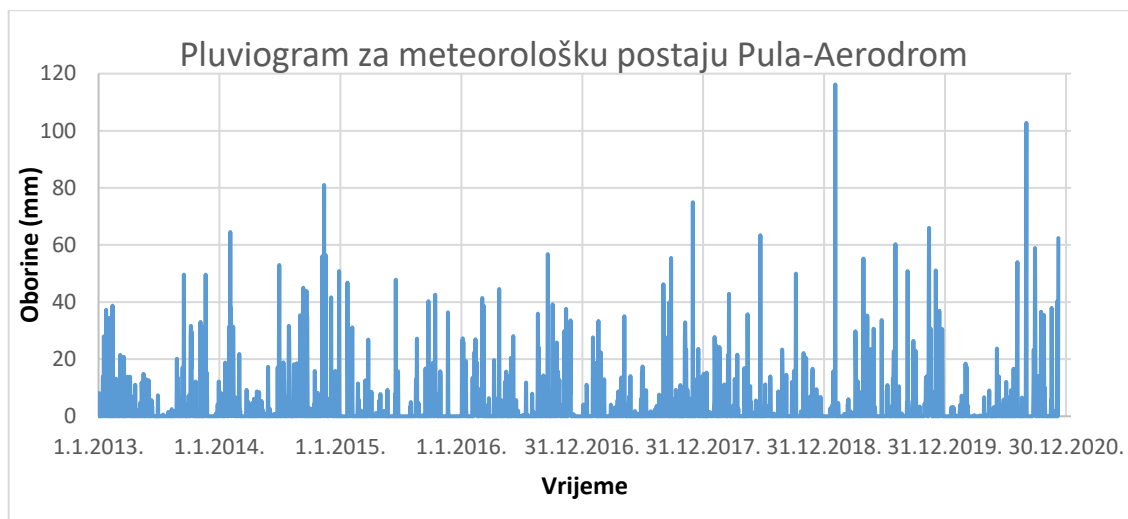
Tablica 4-1. Koordinate korištenih meteoroloških postaja gdje su h – nadmorska visina (m n.m.), ϕ – geografska širina ($^{\circ}$) i λ – geografska dužina ($^{\circ}$)

Broj postaje	Naziv postaje	h (m)	ϕ	λ	HTRS 96/TM	
					x (m)	y (m)
24	Pula-Aerodrom	63	44° 53' 50.9"	13° 55' 12.8"	296250	4976292
205	Rabac	23	45° 04' 40.1"	14° 9' 37.1"	315791	4995756
87	Hreljin	307	45° 16' 58.0"	14° 35' 55.0"	350836	5017628
167	Novi Vinodolski	33	45° 07' 52"	14° 47' 09"	365166	5000445
141	Malinska	42	45° 06' 54.4"	14° 31' 20.1"	344389	4999141

Položaj meteoroloških postaja prikazanih na topografskoj karti mjerila M 1:100.000



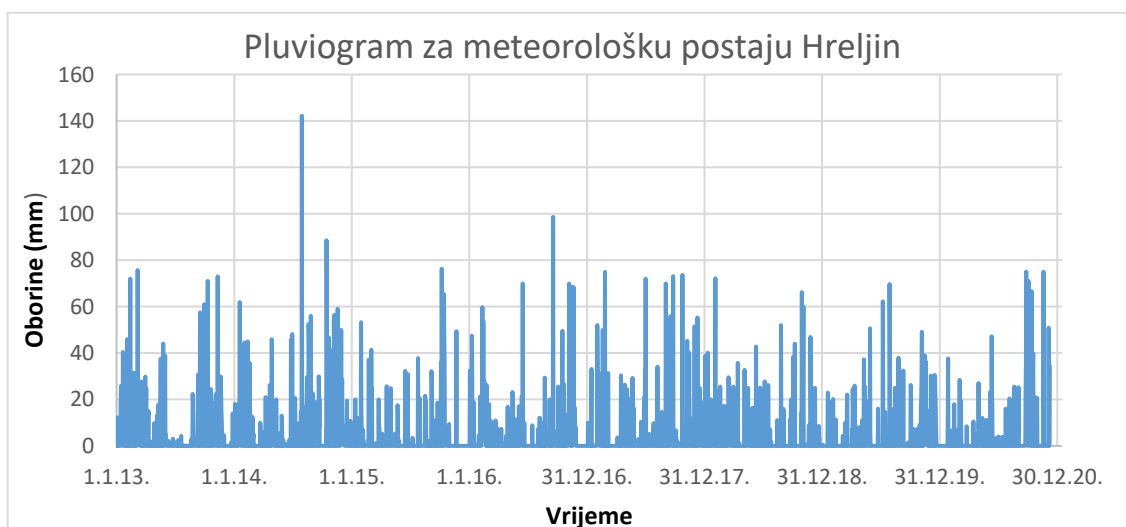
Slika 4-1. Meteorološke postaje prikazane na topografskoj karti mjerila M 1:100.000



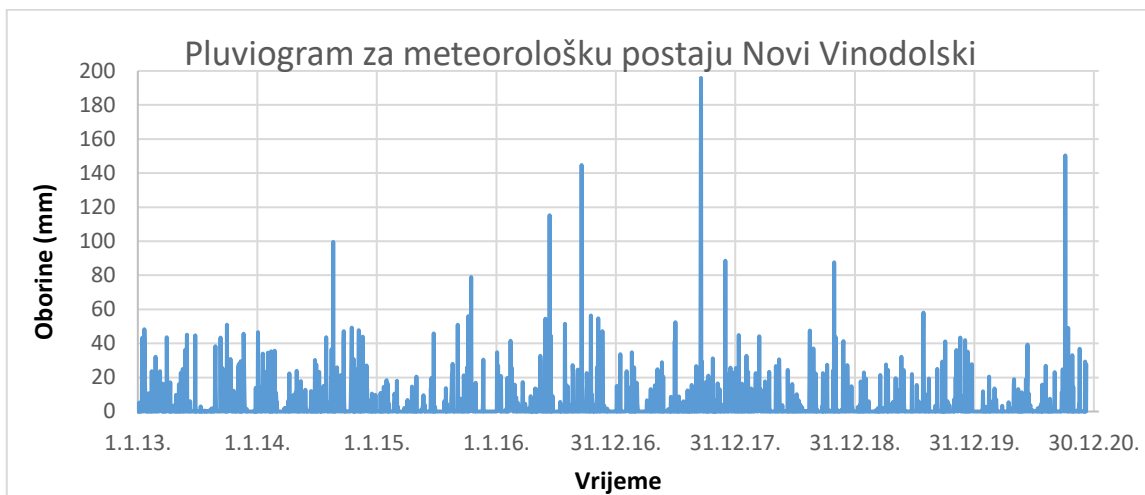
Slika 4-2. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Pula-Aerodrom



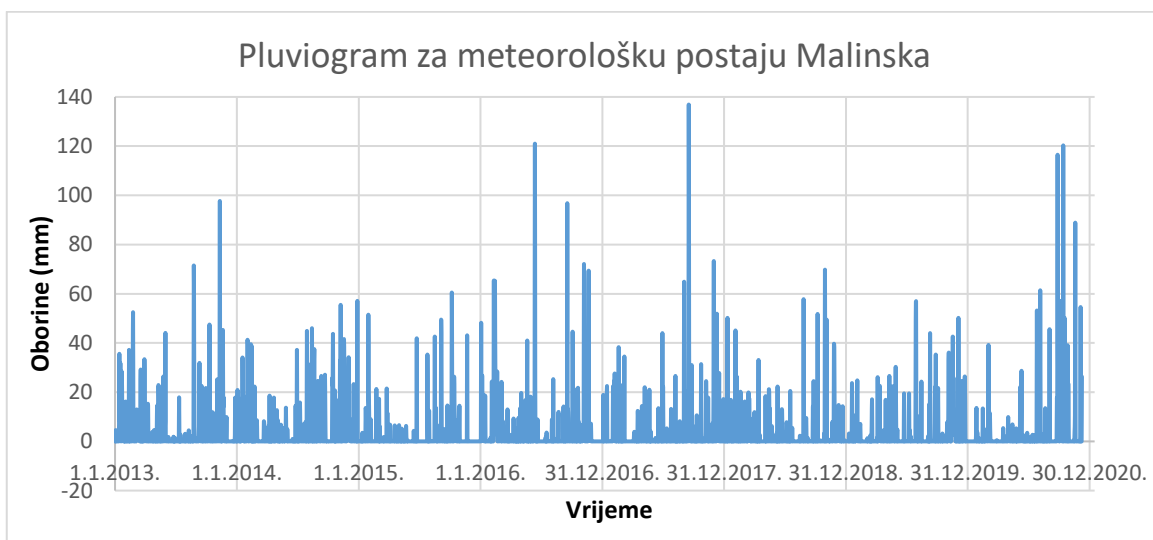
Slika 4-3. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Rabac



Slika 4-4. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Hreljin



Slika 4-5. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Novi Vinodolski



Slika 4-6. Pluviogram dnevnih oborina za meteorološku postaju Malinska

4.2. Hidrološki podaci

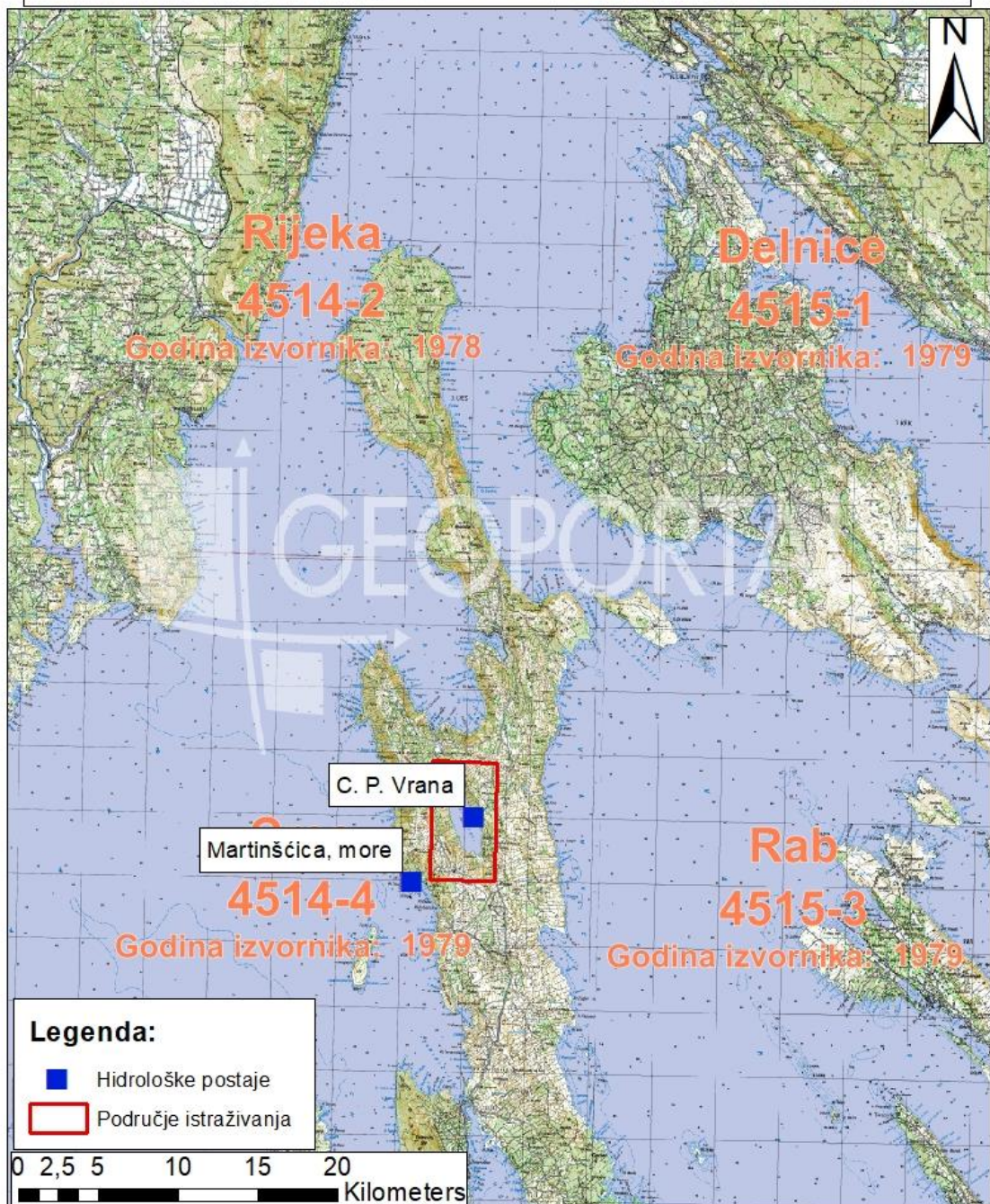
Hidrološki podaci preuzeti su s dvije postaje, C. P. Vrana i Martinšćica, more. Hidrološka postaja C. P. Vrana nalazi se na istočnoj obali jezera dok je postaja Martinšćica 4,5 km jugozapadno od jezera, na obali mora. U Tablici 4-2 nalaze se osnovni podaci postaja dok su na slici 4-7. prikazani njihovi položaji na karti.

Slike 4-8 – 4-10. prikazuju nivograme. Nivogram predstavlja osnovni hidrološki grafički prikaz odnosa vodostaja (u ovom slučaju dnevnih vodostaja) u nekom vremenu. Pomoću takvog načina prikaza, na jednostavan način se prikazuje promjena vodostaja u vremenu te se podaci lakše uspoređuju i analiziraju.

Tablica 4-2. Koordinate korištenih hidroloških postaja gdje su h – nadmorska visina (m n.m.), ϕ – geografska širina ($^{\circ}$) i λ – geografska dužina ($^{\circ}$)

Broj postaje	Naziv postaje	h (m)	ϕ	λ	HTRS 96/TM	
					x (m)	y (m)
6076	C. P. Vrana	9,25	44° 51' 17"	14° 23' 42"	333625	4970459
6118	Martinšćica, more	0	44° 49' 02"	14° 20' 52"	329782	4966390

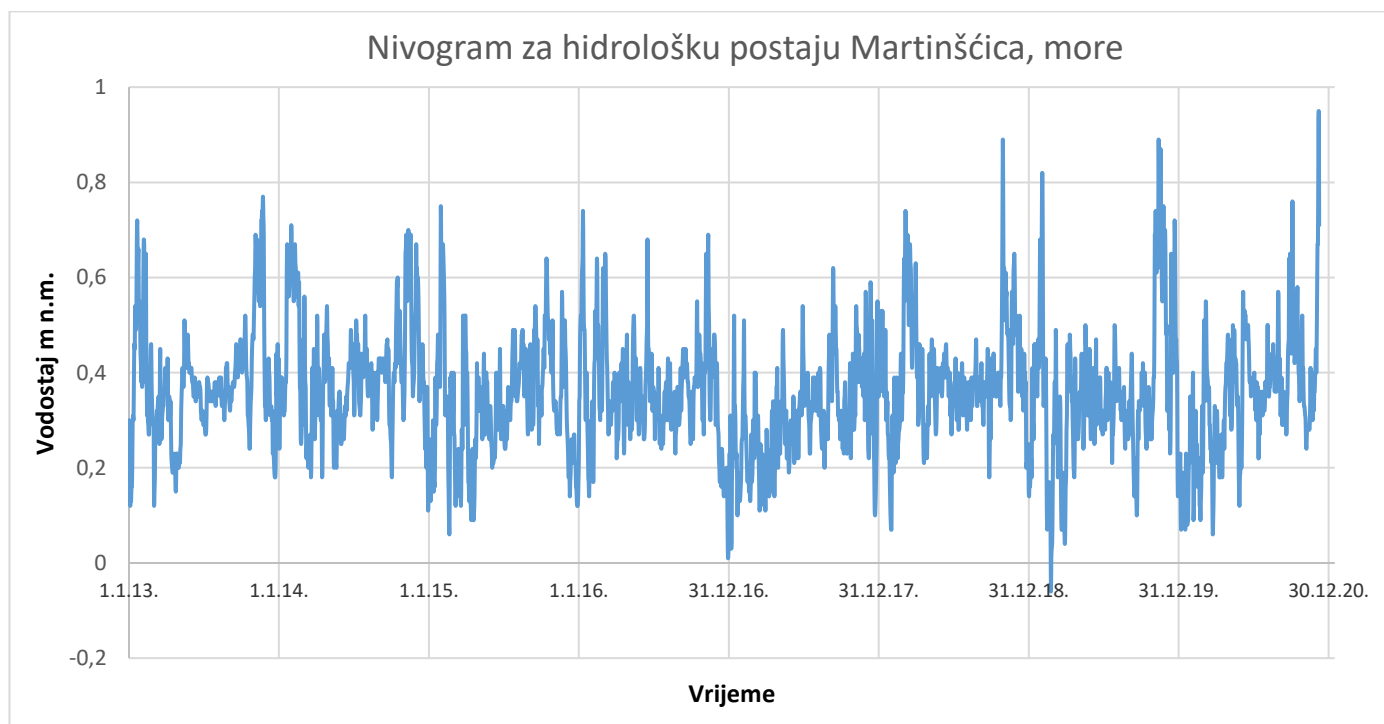
Položaj hidroloških postaja prikazanih na topografskoj karti
mjerila M 1:100.000



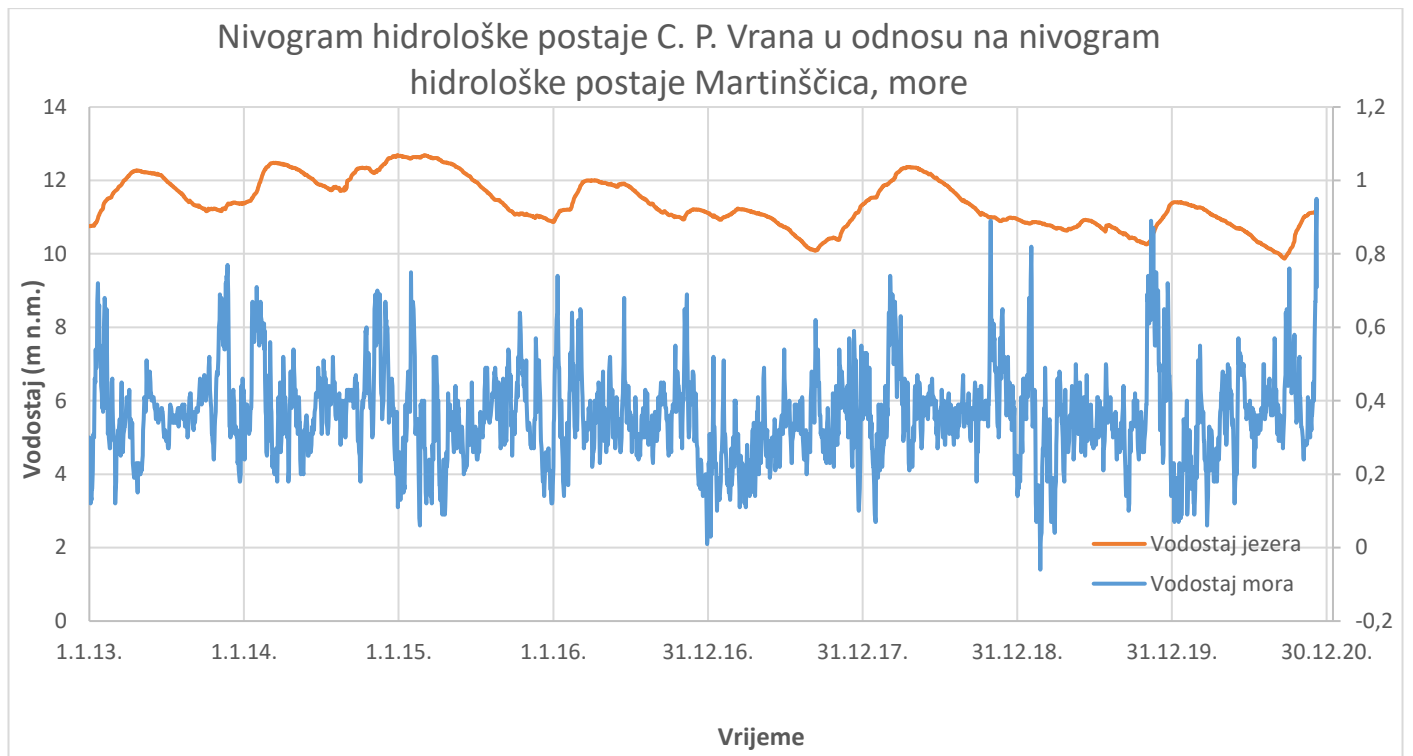
Slika 4-7. Hidrološke postaje prikazane na topografskoj karti mjerila M 1:100.000



Slika 4-8. Nivogram za hidrološku postaju C. P. Vrana



Slika 4-9. Nivogram za hidrološku postaju Martinšćica, more



Slika 4-10. Odnos između nivograma s hidrološke postaje C. P. Vrana i Martinšćica, more

4.3. Obrada podataka

Za samu provedbu statističke analize na hidro-meteorološkim podacima koristio se program Microsoft Excel. Microsoft Excel je vodeći program prilikom analize i obrade velikih količina podataka te je vrlo pogodan alat za njihovu vizualizaciju i grafičku analizu. Pomoću vrlo jednostavne naredbe CORREL, moguće je izračunati koeficijent korelacije (r_{jk}) za bilo koje setove podataka kojima su prethodno mjerenja obavljena u istom vremenskom periodu. Također, naredbom RSQ moguće je izračunati koeficijent determinacije R^2 (slika 4-11). Kros-korelacijska analiza provedena je pomoću namjenski izrađenog VBA programa pod nazivom CrossCorrelationTool_v1 (slika 4-12).

Datum	Dnevna količina oborina (mm)	Protok (l/s)
1. siječanj 2018.	0	4
2. siječanj 2018.	0	3
3. siječanj 2018.	8,1	10
4. siječanj 2018.	0	4
5. siječanj 2018.	0	5
6. siječanj 2018.	0	2
7. siječanj 2018.	0	3
8. siječanj 2018.	0	4
9. siječanj 2018.	0	5
10. siječanj 2018.	0	7
11. siječanj 2018.	0	4
12. siječanj 2018.	0	3
13. siječanj 2018.	4,8	8
14. siječanj 2018.	13,9	11
15. siječanj 2018.	5,4	6
16. siječanj 2018.	1	2
17. siječanj 2018.	28	5
18. siječanj 2018.	0,8	4
19. siječanj 2018.	0	5
20. siječanj 2018.	19	15
21. siječanj 2018.	12,3	14
22. siječanj 2018.	1,4	9
23. siječanj 2018.	8,6	10

Korelacija - koeficijent korelacije rjk	-0,2676
Regresija - koeficijent determinacije R^2	0,0716

Slika 4-11. Zadavanje naredbi CORREL i RSQ u programu Excel

A	B	Lag position	r _{Lag} (A leads B)	Lag position	r _{Lag} (B leads A)
0	4	0	-0,026	0	-0,026
0	3	1	-0,038	-1	-0,032
8,1	10	2	-0,045	-2	-0,031
0	4	3	-0,035	-3	-0,022
0	5	4	-0,037	-4	-0,022
0	2	5	-0,044	-5	-0,025
0	3	6	-0,040	-6	-0,019
0	4	7	-0,040	-7	-0,016
0	5	8	-0,048	-8	-0,021
0	7	9	-0,046	-9	-0,019
0	4	10	-0,048	-10	-0,014
0	3				
4,8	8				
13,9	11				
5,4	6				
1	2				
28	5				
0,8	4				
0	5				
19	15				
12,3	14				
1,4	9				
8,6	10				
11,06	11				

Cross-correlation ...

Cross-correlation

|Maximum lag positions| =

Note:
Absolute maximum lag positions to be analyzed can range from 0 to n*-2, where n* designates the number of data in a time serie.

Calculate ...

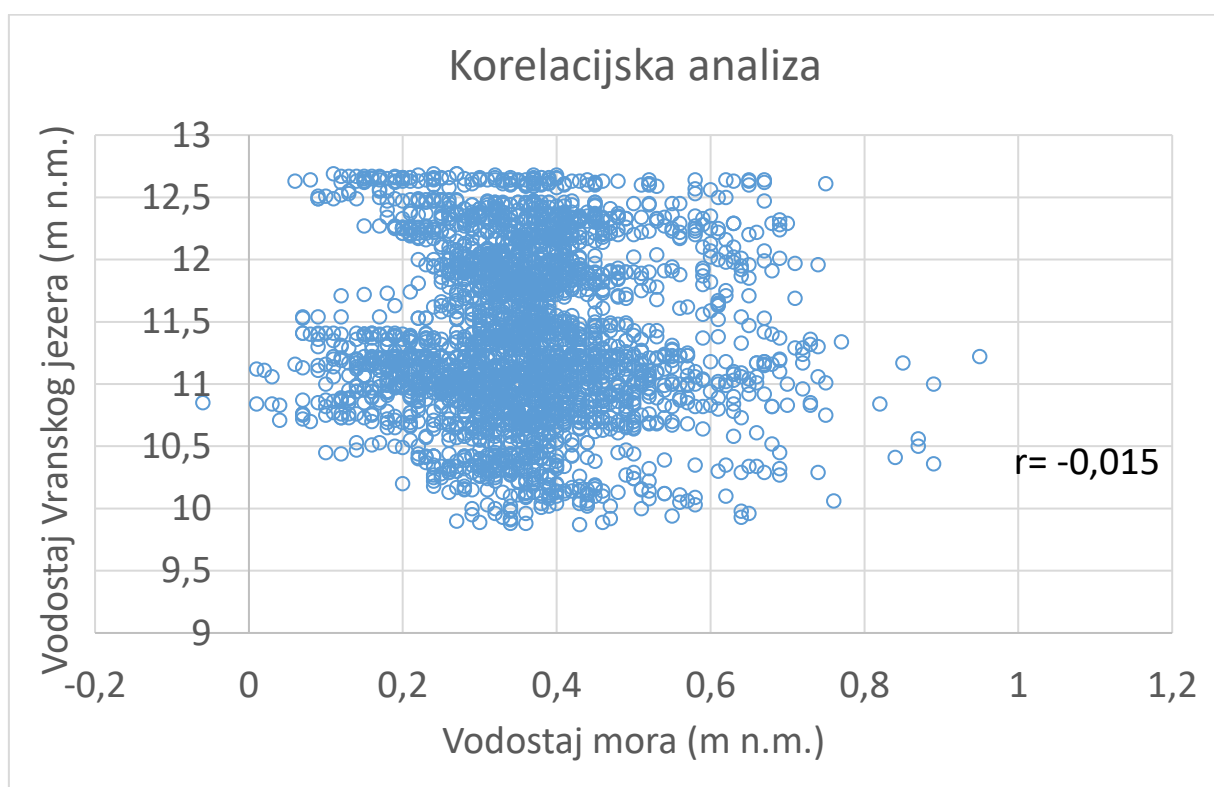
Cross Correlation, r_{Lag}

Slika 4-12. Prikaz namjenski izgrađenog programa za kros-korelacijsku analizu

5. IDENTIFIKACIJA UTJECAJA OBORINA I MORA NA VODOSTAJ VRANSKOG JEZERA NA CRESU – REZULTATI

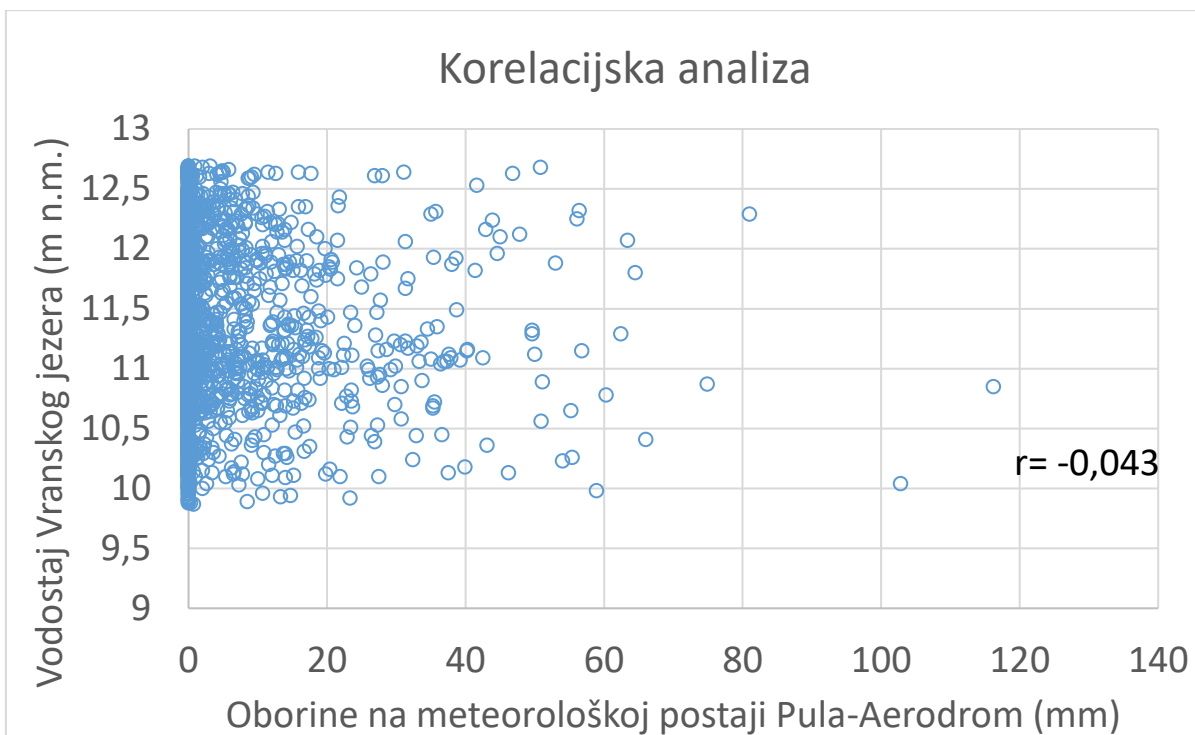
5.1. Rezultati dobiveni korelacijskom analizom

Prilikom korelacijske analize vodostaja Vranskog jezera i vodostaja mora dobiven je koeficijent korelacije koji iznosi -0,015 (slika 5-1). Ovakav koeficijent korelacije ukazuje na to da bi porastom vodostaja mora, vodostaj jezera padao što nije u redu s pretpostavkama. Iz tog razloga, evidentno je da ne postoji nikakva veza između ove dvije varijable.

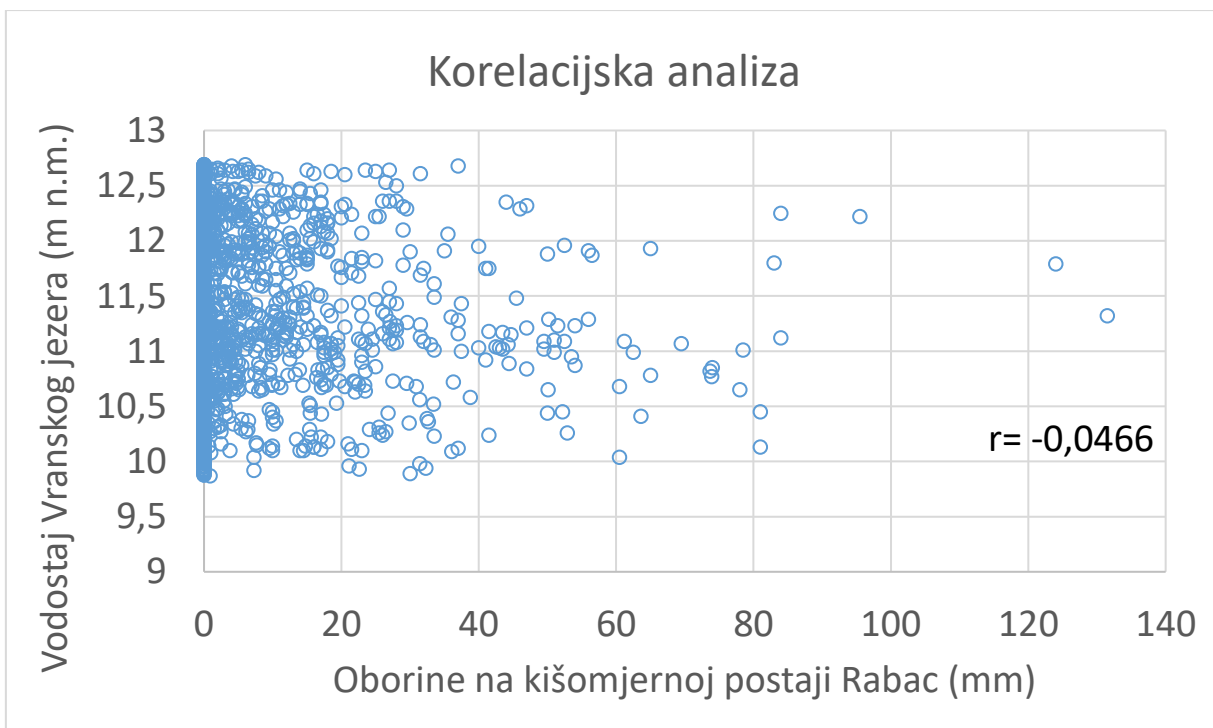


Slika 5-1. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i mora

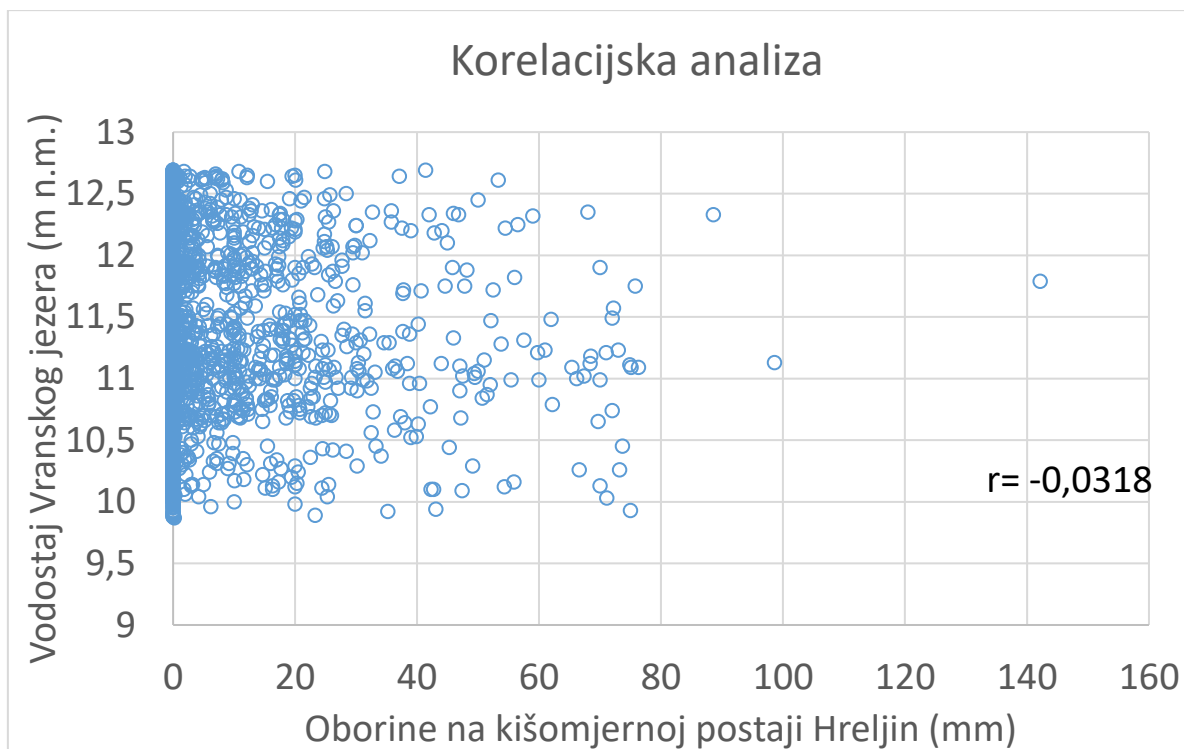
Korelacijskom analizom vodostaja Vranskog jezera i količine oborine na pet različitih meteoroloških postaja dobiveni su različiti korelacijski koeficijenti. Za meteorološku postaju Pula-Aerodrom koeficijent korelacije iznosi -0,043, za kišomjernu postaju Rabac -0,0466, za postaju Hreljin -0,0318, za postaju Novi Vinodolski -0,042 te za postaju Malinska -0,0544 (slike 5-2. – 5-6.). Svi dobiveni korelacijski koeficijenti su negativni što ukazuje na to da porastom oborina vodostaj jezera pada. Takva tvrdnja nije u skladu s pretpostavkama te je evidentno da ne postoji nikakva veza između varijabli.



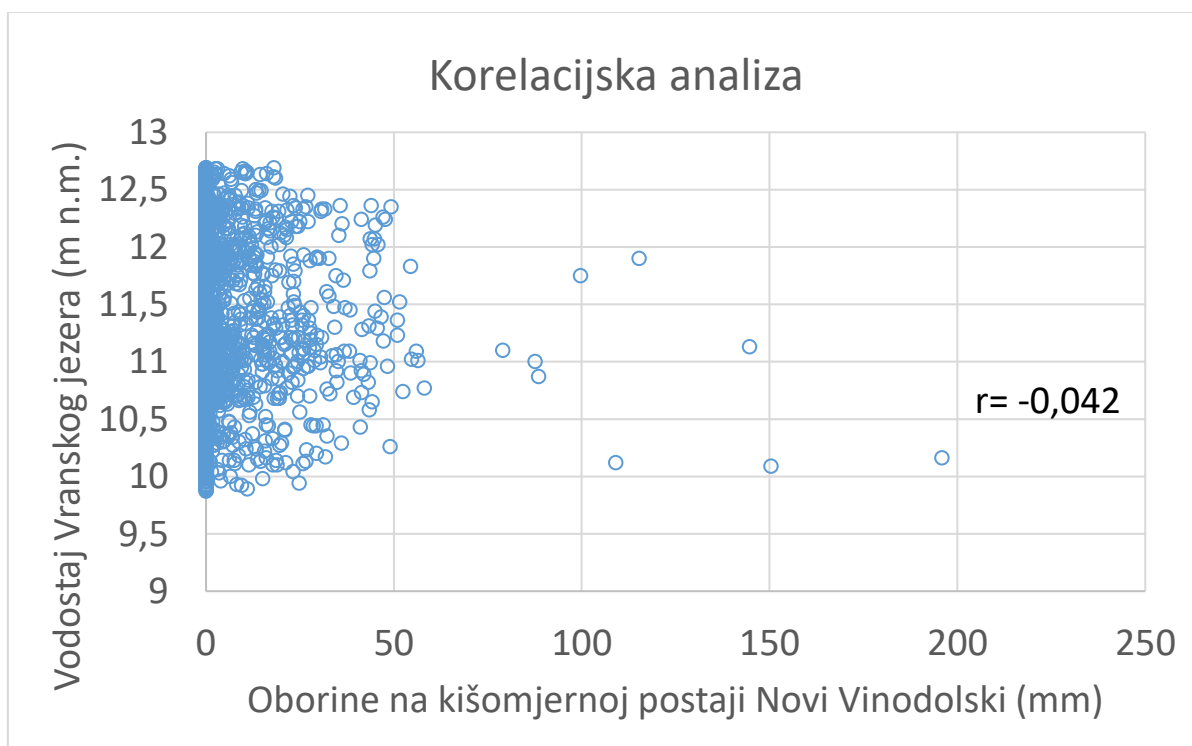
Slika 5-2. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na meteorološkoj postaji Pula-Aerodrom



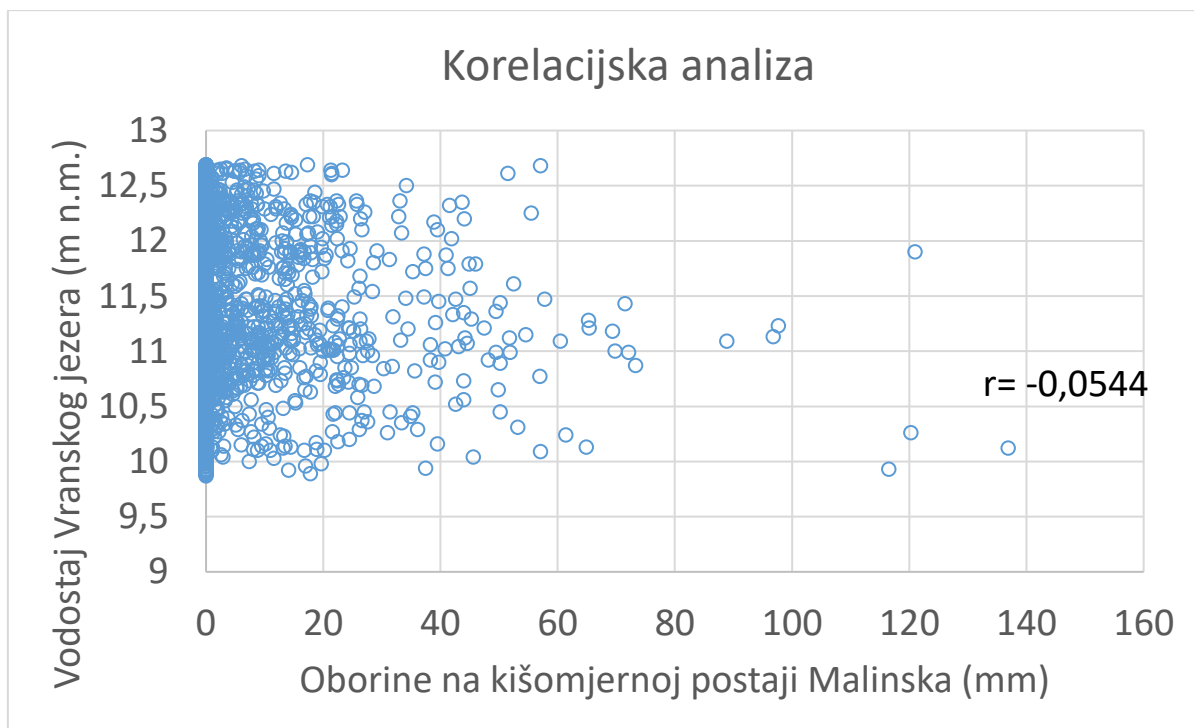
Slika 5-3. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Rabac



Slika 5-4. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Hreljin



Slika 5-5. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Novi Vinodolski

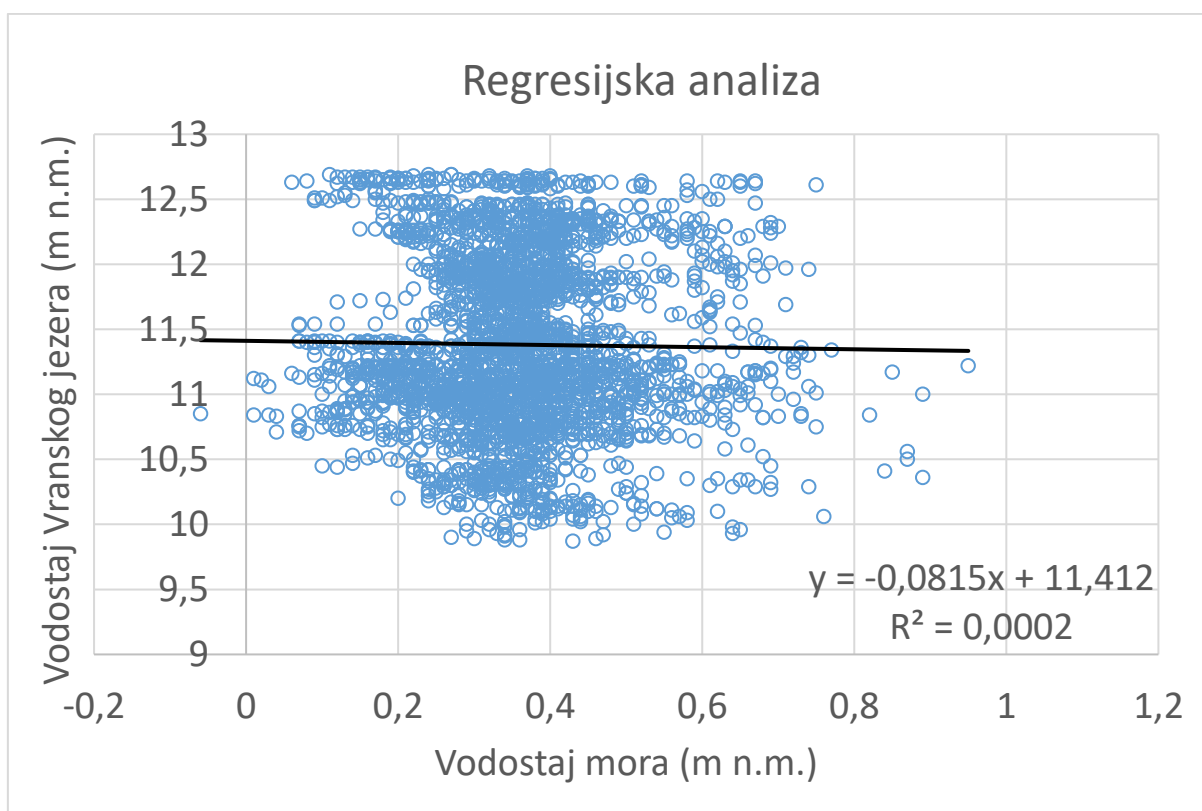


Slika 5-6. Korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Malinska

5.2. Rezultati dobiveni regresijskom analizom

Linearnom regresijskom analizom vodostaja Vranskog jezera i mora te vodostaja Vranskog jezera i oborina na analiziranim meteorološkim stanicama dobivene su jednadžbe pravca te koeficijenti determinacije. Pomoću jednadžbe pravca moguće je prognozirati promjene vodostaja jezera u odnosu na vodostaj mora i oborina dok dobiveni koeficijent determinacije ukazuje na točnost, tj. pouzdanost prognožiranja promjena vodostaja jezera.

Jednadžba pravca dobivena regresijskom analizom vodostaja Vranskog jezera i mora glasi $y = -0,0815x + 11,412$, a koeficijent determinacije R^2 iznosi 0,0002 (slika 5-7). Vrlo niska vrijednost koeficijenta determinacije ukazuje na nemogućnost prognoziranja vodostaja jezera pomoću podataka o vodostaju mora, odnosno na nepouzdanost dobivenog regresijskog modela.

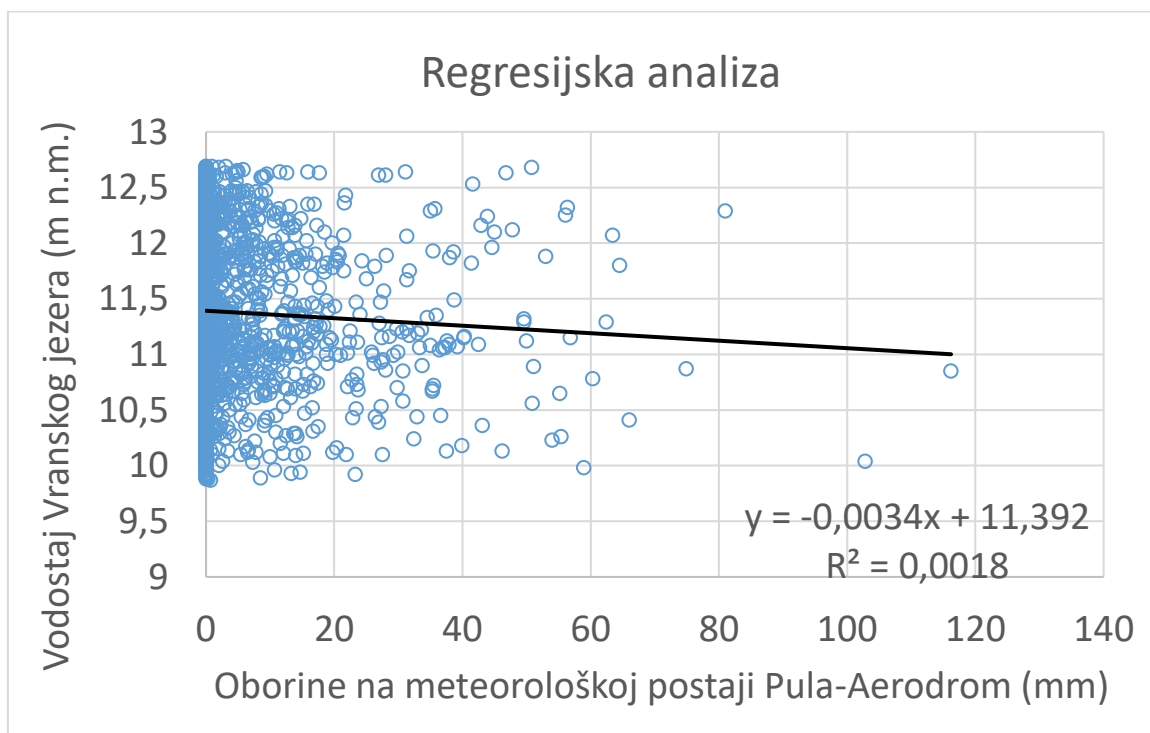


Slika 5-7. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i mora

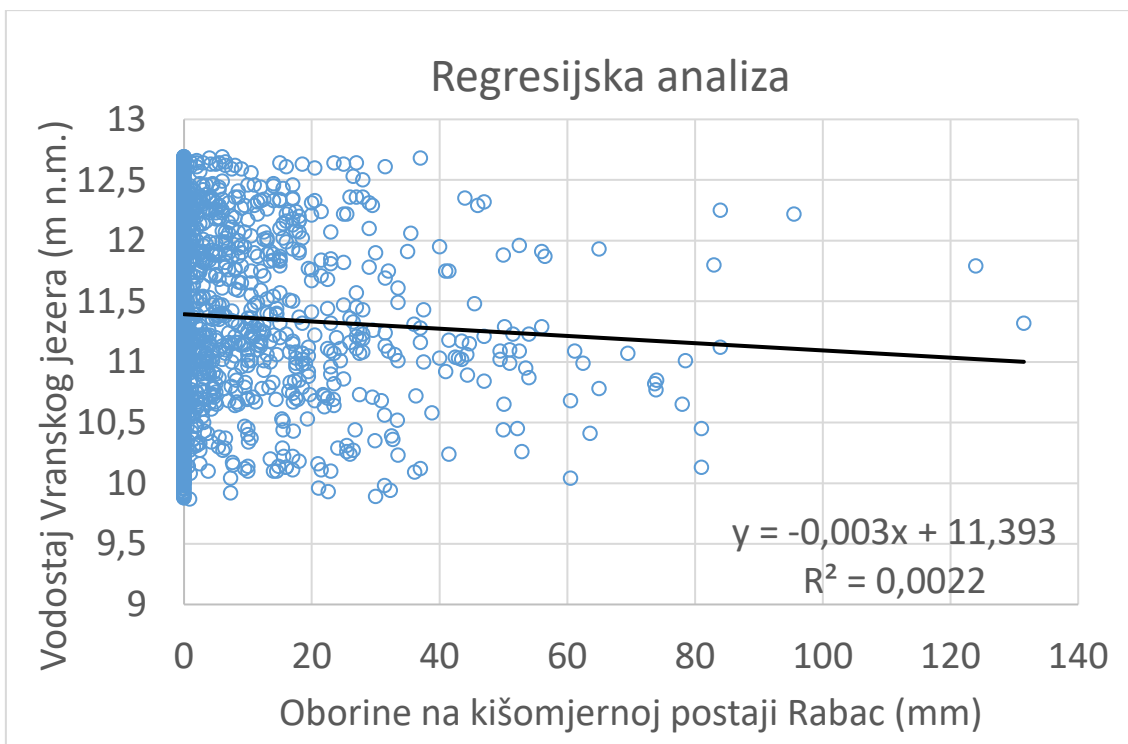
Rezultati regresijske analize vodostaja Vranskog jezera i oborina na pet različitih meteoroloških postaja prikazani su u Tablici 5-1 te grafički na slikama 5-8. – 5-12. Svaki od pet različitih koeficijenata determinacije ukazuje na nepouzdanost dobivenog regresijskog modela između vodostaja Vranskog jezera i oborina. Nastavno tome, ne postoji mogućnost prognoziranja promjena vodostaja u jezeru s obzirom na podatke o palim oborinama.

Tablica 5-1. Rezultati regresijske analize vodostaja Vranskog jezera i oborina na pet različitih meteoroloških postaja

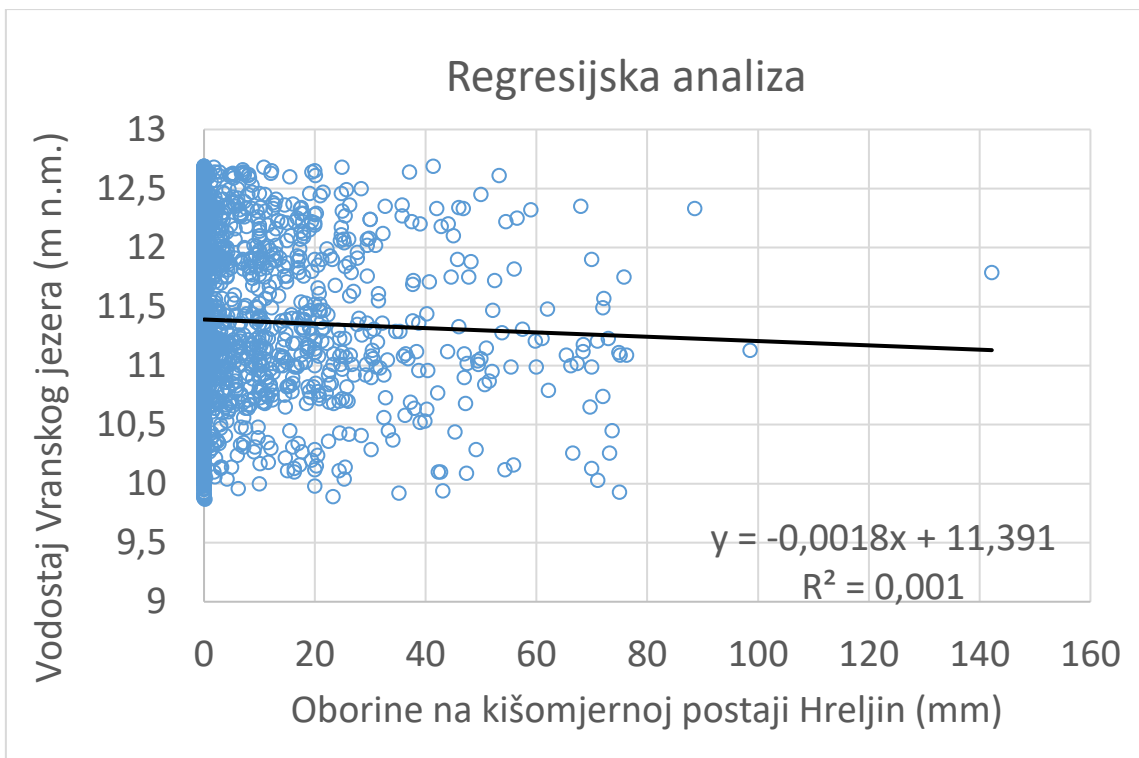
Meteorološka postaja	Jednadžba pravca	Koeficijent determinacije
Pula-Aerodrom	$y = -0,0034x + 11,392$	$R^2 = 0,0018$
Rabac	$y = -0,003x + 11,393$	$R^2 = 0,0022$
Hreljin	$y = -0,0018x + 11,391$	$R^2 = 0,001$
Novi Vinodolski	$y = -0,0027x + 11,392$	$R^2 = 0,0018$
Malinska	$y = -0,0035x + 11,395$	$R^2 = 0,003$



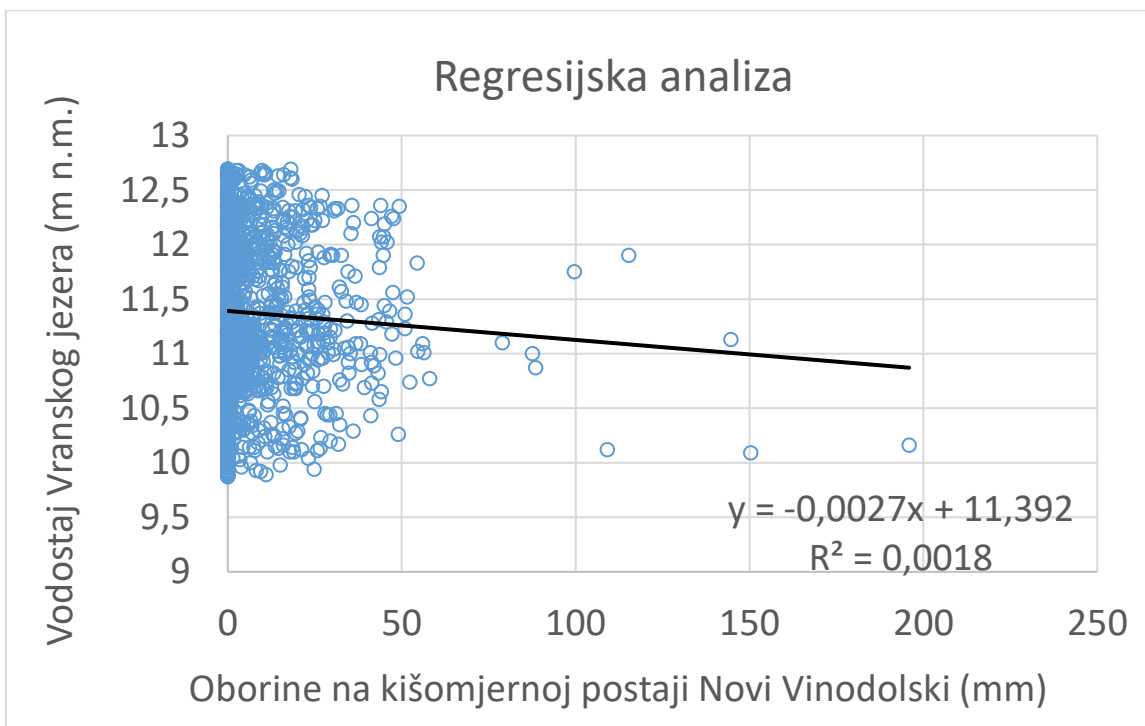
Slika 5-8. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na meteorološkoj postaji Pula-Aerodrom



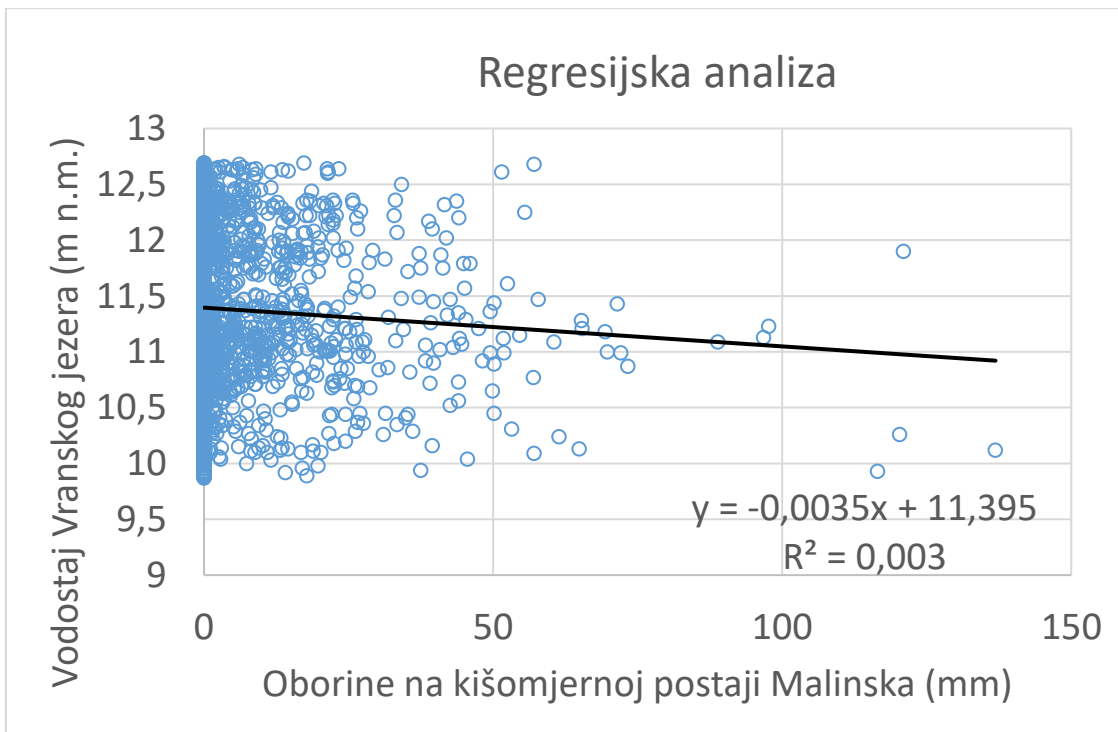
Slika 5-9. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Rabac



Slika 5-10. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Hreljin



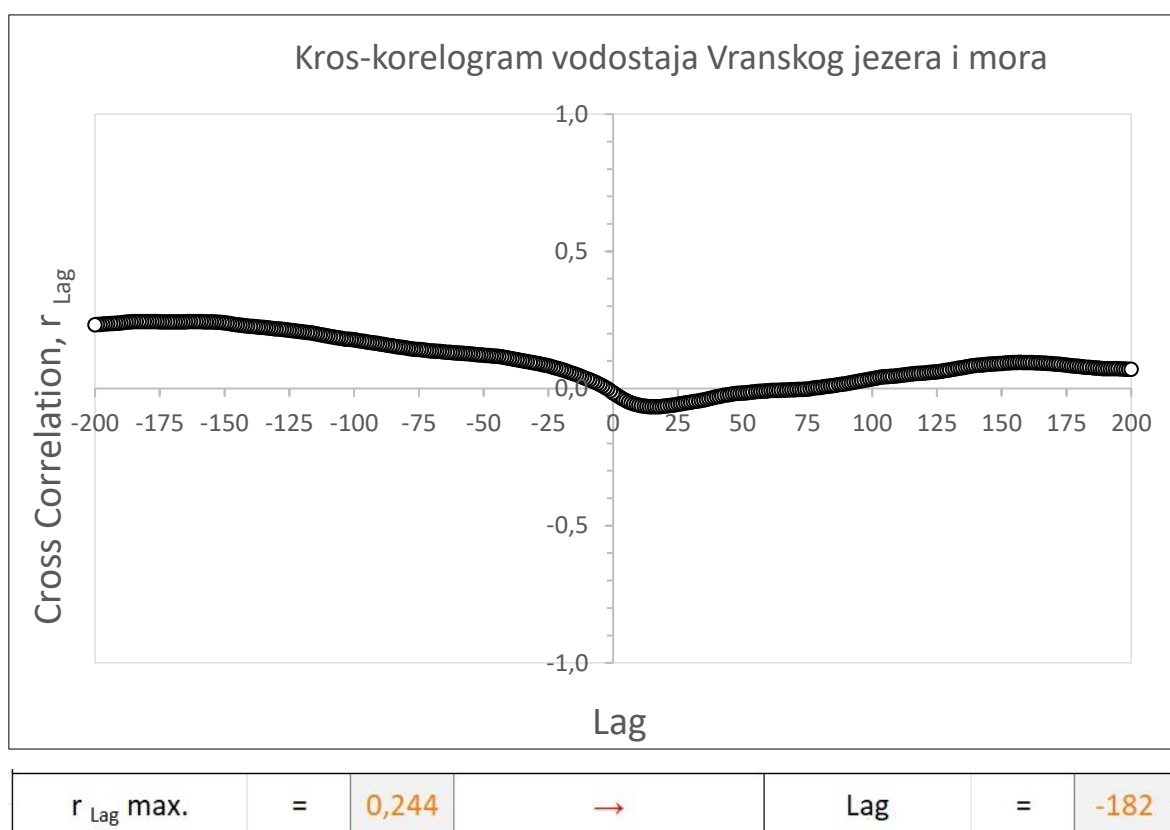
Slika 5-11. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Novi Vinodolski



Slika 5-12. Regresijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Malinska

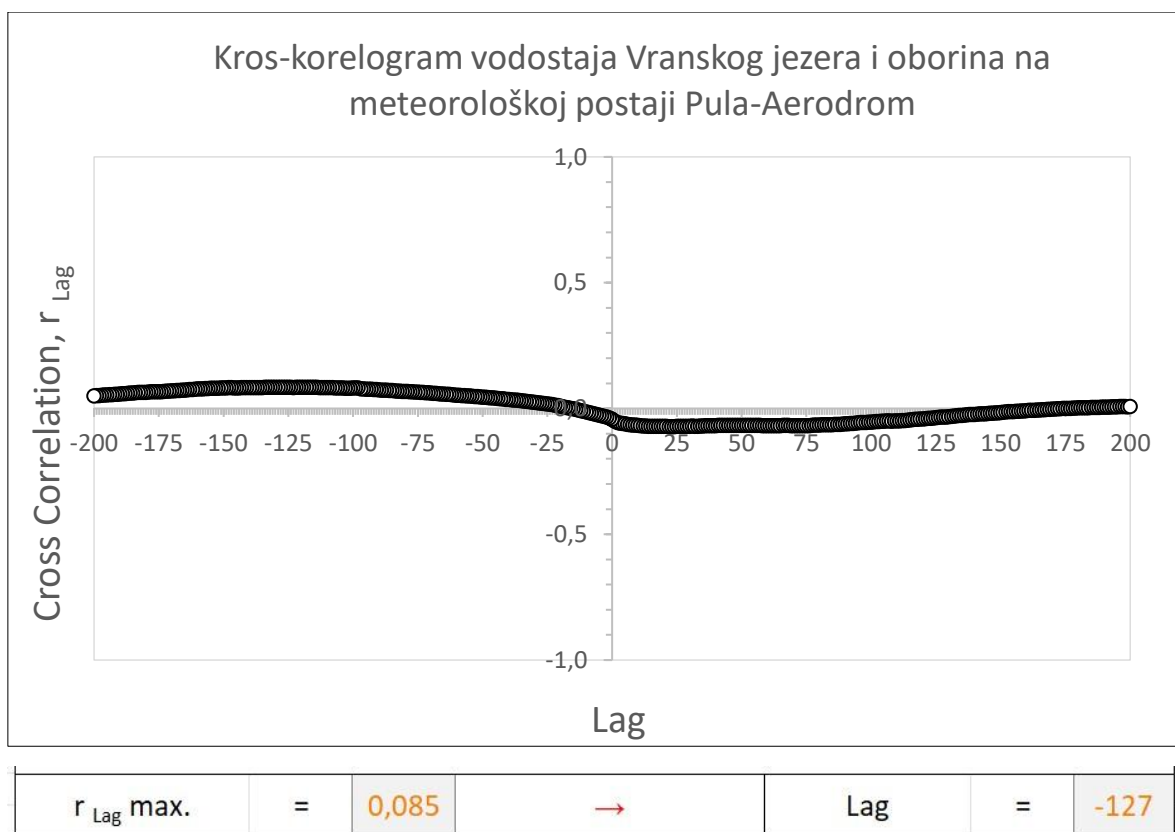
5.3. Rezultati kros-korelacijske analize

Kros-korelacijska analiza samo je dodatno pokazala vrlo slabu do neznatnu hidrauličku vezu između vodostaja Vranskog jezera i vodostaja mora te vodostaja jezera i oborina. Slika 5-13. prikazuje kros-korelogram dobiven prilikom provođenja analize u 200 vremenskih koraka, odnosno 200 dana za setove podataka o vodostaju Vranskog jezera i mora. Vrijeme zaostajanja reakcije, tj. prijenosa tlaka iznosi 182 dana. Ovom analizom se potvrđuju rezultati iz korelacijske i regresijske analize na nepostojanje veze između ove dvije varijable.

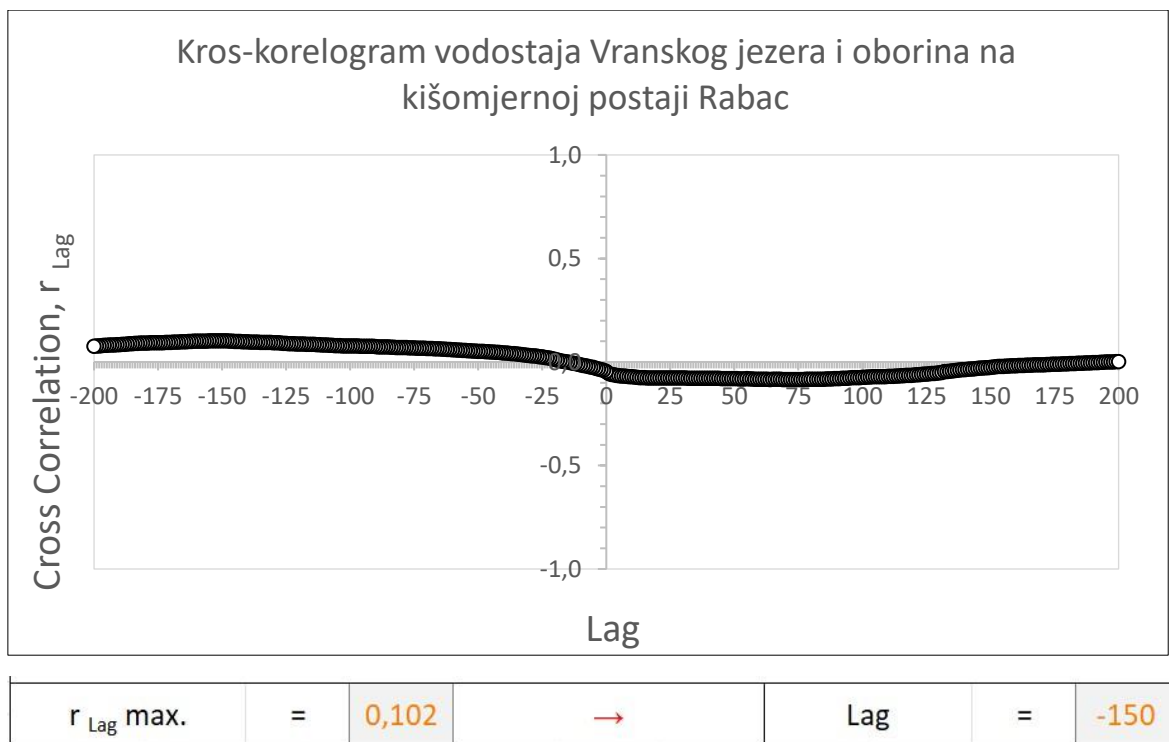


Slika 5-13. Kros-korelogram vodostaja Vranskog jezera i mora

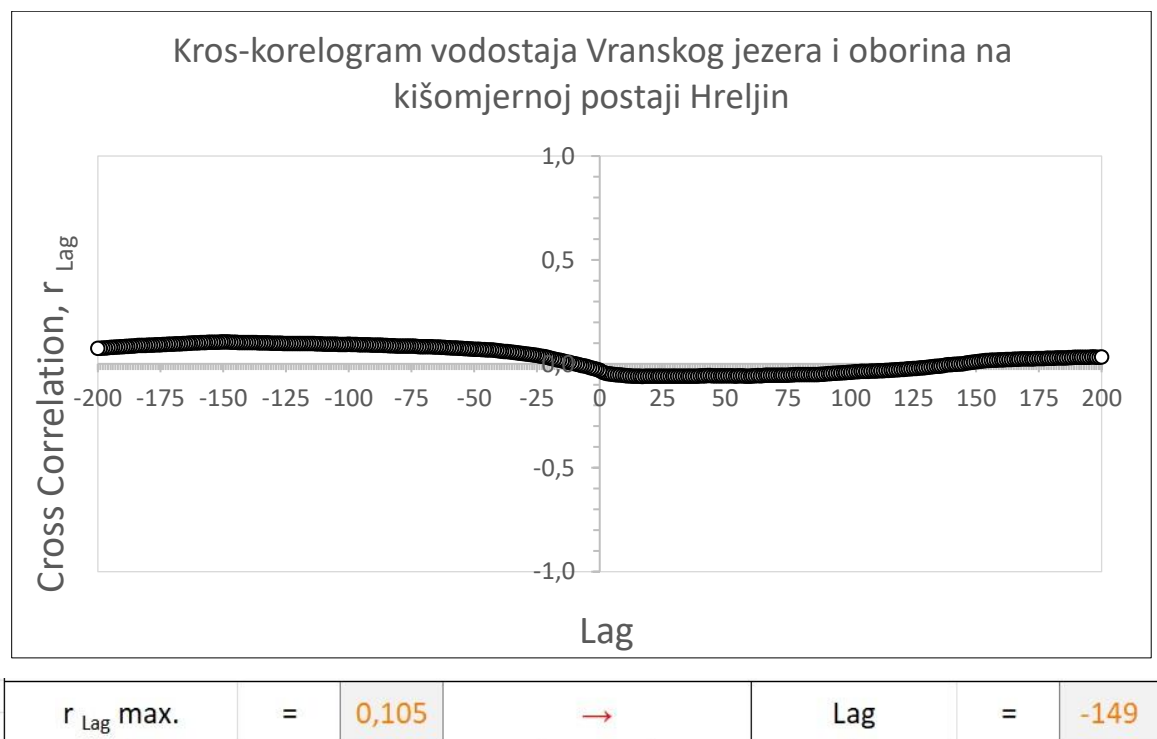
Slike 5-14 – 5-18. prikazuje kros-korelograme vodostaja jezera i oborina palih na pet meteoroloških stanica. Analiza je također provedena u 200 vremenskih koraka, odnosno 200 dana. Vremena zaostajanja reakcije, tj. prijenosa tlaka, različita su za različite postaje. Za postaju Pula-Aerodrom vrijeme prijenosa tlaka iznosi 127 dana, za postaju Rabac 150 dana, za postaju Hreljin 149 dana, za postaju Novi Vinodolski 155 dana i za postaju Malinska 149 dana. Za izračunato vrijeme zaostajanja koeficijent korelacije su iznimno niski te se iz tog razloga rezultati ne mogu smatrati pouzdanima.



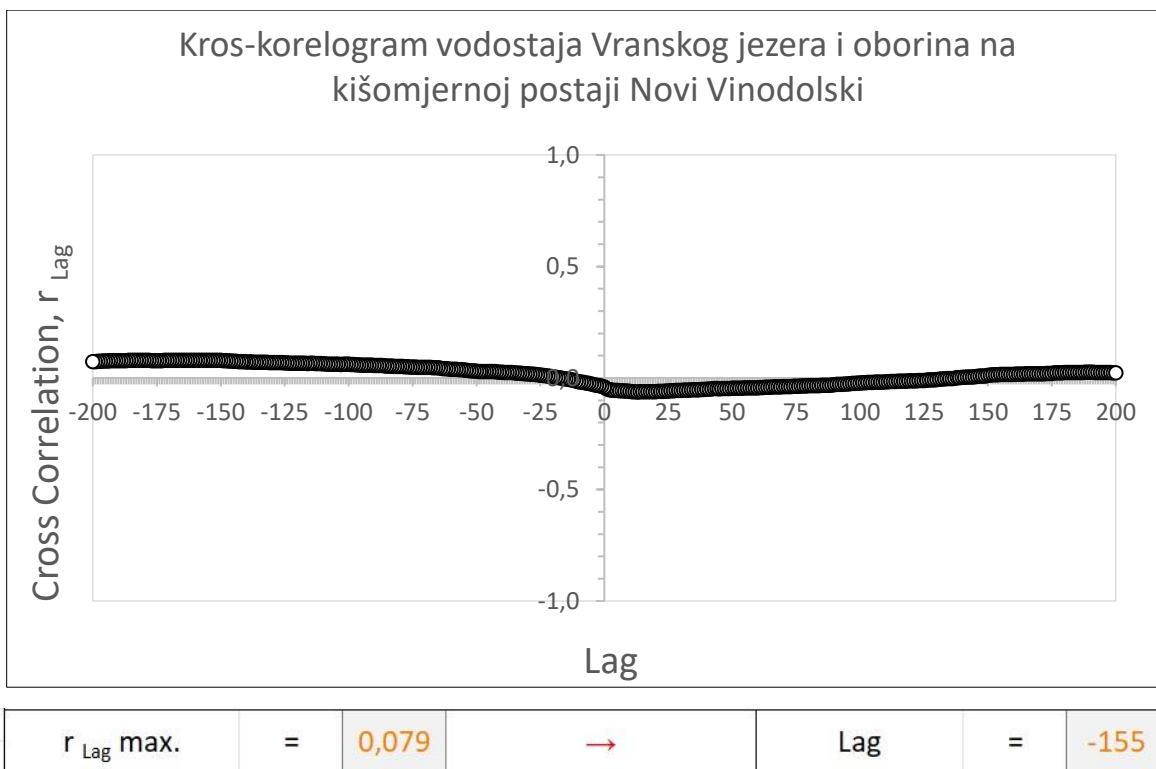
Slika 5-14. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na meteorološkoj postaji Pula-Aerodrom



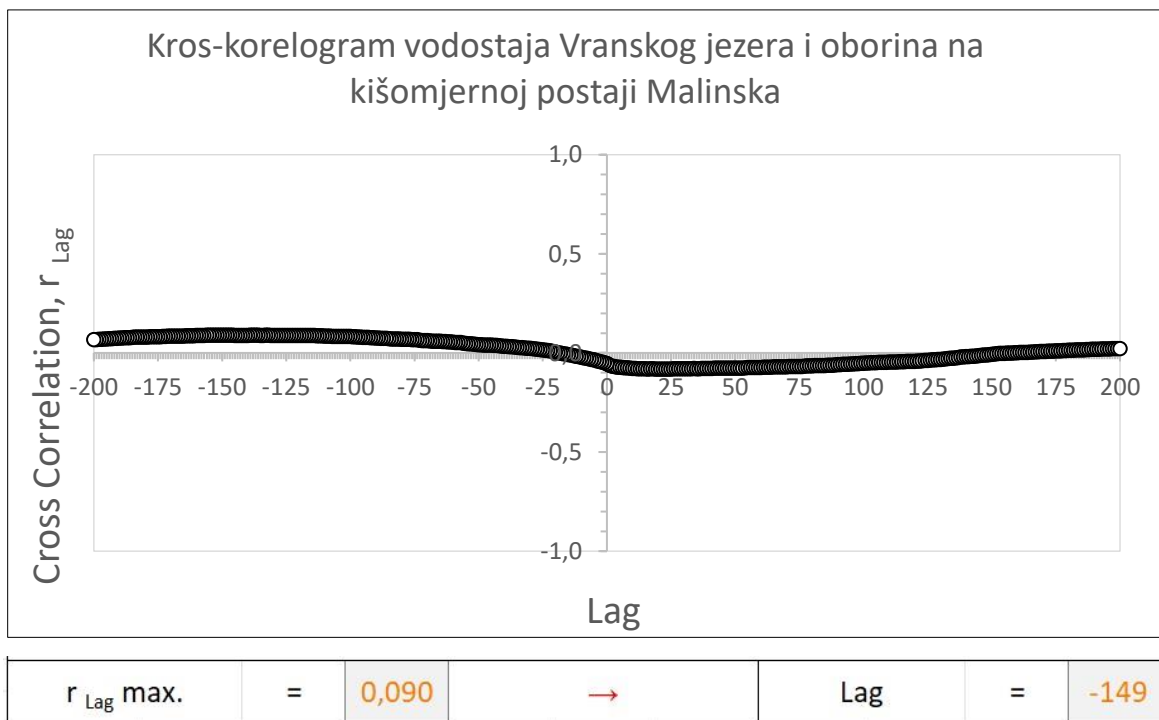
Slika 5-15. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Rabac



Slika 5-16. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Hreljin



Slika 5-17. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Novi Vinodolski



Slika 5-18. Kros-korelacijska analiza vodostaja Vranskog jezera i dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Malinska

6. DISKUSIJA

Primjenom statističkih metoda korelacije, regresije i kros-korelacije dobiveni su većinom slični rezultati povezanosti vodonosnog sustava jezera s vodostajem mora i oborinama. Korelacijska i regresijska analiza pokazale su vrlo slabu negativnu ili nikakvu povezanost navedenih parametara te je kros-korelacijska analiza pokazala vrlo slične rezultate. Ovakvi rezultati negativne korelacije nisu nimalo logični s obzirom da se ne očekuje da s porastom vodostaja mora ili količinom oborina, vodostaj jezera pada. Ovim zaključkom, potvrđuje se da na temelju statističke analize veza između vodostaja jezera i navedenih parametara ne postoji odnosno ne može biti utvrđena. Također, ovakvi rezultati potvrđuju teoriju o prihranjivanju vode u jezero isključivo sa sliva koji se nalazi na samom otoku Cresu, a koju su dokazali i autori poput Bonacci (1993.) i Ožanić (1996.) različitim metodama hidrološkog bilanciranja.

Utjecaj vodostaja mora na vodostaj jezera uvjerljivo je najmanji što podupire teoriju da nema nikakve podzemne povezanosti jednog i drugog sustava. Teoriju podupire i Kuhta (2004) koji u svojem radu stavlja fokus na dvije vrulje, vrulja Vrutek i vrulja Valun, kao potencijalna mjesta pražnjenja jezera (vidi slika 2-4). Vrulja Vrutek, 3,3 km zapadno od jezera, najperspektivnije je mjesto pražnjenja te je iz tog razloga provedeno trasiranje s ciljem dokazivanja potencijalne veze. Oko vrulje Valun, 3,2 km sjeverozapadno od jezera, mjerila se temperatura mora, odnosno vode koja direktno izlazi iz vrulje, također s ciljem dokazivanja potencijalne veze. Trasiranjem se nije dokazala podzemna veza između vrulje Vrutek i jezera te se mjerenjem temperature vode iz vrulje Valun također dokazalo da nema nikakve povezanosti između dva sustava.

Iako se analiza u ovom radu provela na velikom broju podataka, ne može se sa sigurnošću odbaciti suprotna teorija od gore navedene. Kako se ovdje radi o krškom području istraživanja, nažalost je nemoguće dovesti zaključke s velikom sigurnošću. Razlog tomu je nemogućnost detaljnog poznavanja krškog podzemlja, točnije stupnja okršenosti, brojeva pukotina te njihovih lokacija itd. Utjecaj oborina s pet meteoroloških postaja u krugu od 50 km vrlo je neznatan. Očito je da podaci o oborinama s određenih postaja imaju puno veći utjecaj na područja koja ih neposredno okružuju nego na ona koja su udaljenija. Također, vrlo je bitan i njihov intenzitet padanja. Ukoliko padnu velikim intenzitetom, postoji mogućnost da takva oborina dominantno otječe površinski te je samim time i infiltracija u podzemlje puno manja. Iz takvih i sličnih razloga, korisno je u statističkim analizama poznavati i dodatne parametre izuzev same količine oborina.

Također, nikako se ne smije zanemariti utjecaj i samog crpljenja jezera u svrhu vodoopskrbe i odvodnje. Prema dosadašnjim potrebama iz jezera se godišnje crpi oko $2,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode (Ožanić i Rubinić, 1998). Jasno je da se tokom ljetnih mjeseci utjecaj crpljenja poveća te to rezultira povećanjem opadanja vodostaja jezera. Zbog relativno velike površine i volumena jezera u odnosu na crpne količine, utjecaj crpljenja nije toliko izražen. No, uzmemo li u obzir da se u zadnjih nekoliko godina javlja problem klimatskih promjena i ovakve crpne količine mogu dovesti do značajnijih problema. Bonacci (2014) je u svojem radu procijenio da se s porastom temperature od 1° iz jezera evapotranspiracijom gubi oko $7,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode, što predstavlja stupac vode od oko 1 m. Pridodaju li se tome i količine crpljenja, vodostaj jezera bi se mogao znatno sniziti što na sebe veže daljnje probleme u crpljenju vode. U ovakvom slučaju, i onaj mali koeficijent korelacije između vodostaja jezera i mora dolazi do izražaja ukoliko ta veza postoji. Opadanjem razine vodostaja jezera, a povećanjem crpne količine, povećava se mogućost prodora slane vode te nastavno i zaslanjenja kompletnog vodonosnog sustava. Iz tog razloga, nikako ne treba zanemariti i ovako male rezultate korelacijske analize ukoliko se pokaže da su sustavi podzemno povezani.

Za daljnja pouzdanija istraživanja Vranskog jezera i njegove povezanosti s oborinama i morem bilo bi neophodno instalirati kišomjernu postaju na obalama samog jezera, odnosno na njegovom preljevnom području. S time bi se omogućila analiza podataka o oborinama koje su pale direktno na sliv jezera te bi se dobili pouzdaniji rezultati. Također, korišteni podaci u ovoj analizi predstavljaju dnevne količine oborina i vodostaja stoga se može zaključiti kako bi rezultati bili nešto precizniji da su se koristili detaljniji, tj. satni podaci.

7. ZAKLJUČAK

Identifikacija utjecaja oborina i mora na vodostaj Vranskog jezera opisana je statističkim metodama korelacije, regresije i kros-korelacije. Podaci koji su se obrađivali predstavljaju osmogodišnje razdoblje, od 01.01.2013. do 07.12.2020., dnevnih vodostaja i oborina.

Korelacijskom analizom vodostaja jezera i mora dobiven je korelacijski koeficijent u iznosi od -0,015. Nadalje, analizom vodostaja jezera i oborina na pet različitih meteoroloških postaja dobiveni su dalje navedeni korelacijski koeficijenti. Za meteorološku postaju Pula-Aerodrom -0,043, za kišomjernu postaju Rabac -0,0466, za postaju Hreljin -0,0318, za postaju Novi Vinodolski -0,042 i za postaju Malinska -0,0544. Rezultati analize podataka ukazuju na nelogičnu tvrdnju da povećanjem vodostaja mora ili količine oborina, vodostaj jezera pada. Iz tog razloga zaključuje se da statističkim analizama nije moguće utvrditi vezu između ovih varijabli.

Regresijskom analizom vodostaja jezera i mora dobivena je jednadžba pravca koja glasi $y = -0,0815x + 11,412$, dok koeficijent determinacije iznosi 0,0002. Jednadžbe pravca i koeficijenti determinacije dobiveni regresijskom analizom vodostaja jezera i oborina na pet različitih meteoroloških postaja navedeni su u nastavku. Za meteorološku postaju Pula-Aerodrom jednadžba pravca glasi $y = -0,0034x + 11,392$, a koeficijent determinacije 0,0018; za kišomjernu postaju Rabac jednadžba pravca glasi $y = -0,003x + 11,393$, a koeficijent determinacije 0,0022; za postaju Hreljin jednadžba glasi $y = -0,0018x + 11,391$. a koeficijent determinacije 0,001; za postaju Novi Vinodolski jednadžba glasi $y = -0,0027x + 11,392$, a koeficijent determinacije 0,0018 i za postaju Malinska jednadžba glasi $y = -0,0035x + 11,395$, a koeficijent determinacije 0,003. Rezultati regresijske analize jasno ukazuju na nemogućnost prognoziranja promjena vodostaja jezera u odnosu na druge analizirane sustave.

Kros-korelacijska analiza obavljena je u 200 vremenskih koraka, odnosno 200 dana. Za analizu vodostaja jezera i mora vrijeme prijenosa tlaka iznosi 187 dana. Za analizu vodostaja jezera i oborina na pet različitih meteoroloških postaja vrijeme prijenosa tlaka se kreće između 127 dana za postaju Pula-Aerodrom, 149 dana za postaje Hreljin i Malinska, 150 dana za postaju Rabac te 155 dana za postaju Novi Vinodolski. Zbog toga što su koeficijenti korelacije vrlo niski, rezultati kros-korelacijske analize su nepouzdana te se vremena zaostajanja mogu bitno razlikovati.

8. LITERATURA

- BIONDIĆ, B., IVČIĆ, D., KAPELJ, S., MESIĆ, S. (1995): Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu. U: 1. Hrvatski geološki kongres: zbornik recenziranih radova i sažetaka, 1995, str. 89-94.
- BONACCI, O. (1993): The Lake Vrana hydrology (Island of Cres-Croatia). Water Resources Bulletin, 29(3), str. 407-414.
- BONACCI, O. (2014): Analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu. Časopis Hrvatske vode, 22 (2014), 80; str. 337-346.
- BONACCI, O., ROJE-BONACCI, T. (2018): Analiza odnosa razina podzemne vode i vodostaja Vranskog jezera na otoku Cresu. Časopis Hrvatske vode 26 (2018), 103; str. 39-47.
- 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 djela zagrebačkog vodonosnika. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi – mobilistički osvrt na genezu i strukturu. Acta Geologica, 21, 35-117, Zagreb.
- HINKLE, D., WIERMSA, W., JURŠ, A. (2003): Applied statistics for the behavioral sciences. 5. izdanje. Boston: London: Hi Marketing.
- KONTIĆ, P. (2015): Predviđanje dolazak turista u Republiku Hrvatsku koristeći Google Trend. Specijalistički diplomski rad. Veleučilište u Šibeniku, odjel menadžment.
- KUHTA, M. (2004): Vrana Lake on Cres Island – genesis, characteristics and prospects // Groundwater flow understanding from local to regional scales /. Zacatecas, 2004. str. .-x
- MAGAŠ, N. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Cres L33-113. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1965); Savezni geološki zavod, Beograd.
- MATKOVIĆ, B. (2022): Analiza postojećeg stanja izgrađenosti sustava. Konceptijsko rješenje i studija izvedivosti. Cres: Vodoopskrba i odvodnja Cres Lošinj d.o.o., IR-204/22.
- NARODNE NOVINE br. 125/17. *Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju.*
- NARODNE NOVINE br. 30/23. *Zakon o vodi za ljudsku potrošnju.*
- OŽANIĆ, N. (1996): Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. Doktorska disertacija. Sveučilište u Splitu, Građevinski fakultet u Splitu.

OŽANIĆ, N., RUBINIĆ, J. (1998): Hidrološke značajke i režim funkcioniranja jezera Vranskog jezera na otoku Cresu. Hrvatsko hidrološko društvo. Okrugli stol, Voda na hrvatskim otocima. Zbornik radova (1998).

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

ŠEGOTA, T., FILIPČIĆ, A. (2001): Hipotetska starost Vranskog jezera na Cresu. Acta Geographica, Croatica 35 (2000), Zagreb 2001., str. 45-46.

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.

WEB-STRANICE:

<https://www.viocl.hr/kvaliteta-vode-za-pice>, datum: 07.09.2024.

KORIŠTENI SOFTVERI:

ESRI INDUSTRIES (2012): ArcMap, Verzija 10.8, računalni program, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/whats-new-in-arcgis.htm> (31.08.2024.)

MICROSOFT (2024): Microsoft Excel, Verzija 2407, računalni program, <https://learn.microsoft.com/en-us/officeupdates/current-channel#version-2407-august-13> (31.08.2024)