Analiza mjerenja prikupljenih tijekom 2015.-2016. godine na lokaciji Diga

Džaja, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:442529

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split







SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Džaja

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Marko Džaja

Analiza mjerenja prikupljenih tijekom 2015.-2016. godine na lokaciji Diga

Diplomski rad

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ:	**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Marko Džaja
BROJ INDEKSA:	566
KATEDRA:	**Katedra za privrednu hidrotehniku**
PREDMET:	Obalno inženjerstvo

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza mjerenja prikupljenih tijekom 2015-2016. godine na lokaciji Diga

Opis zadatka: U sklopu diplomskog rada, od kandidata se očekuje da uzimajući u obzir:

- podatke prikupljene na terenu
- klimatološke podatke (DHMZ) sa najbliže relevantne mjerne postaje
- rezultate postojećih istražnih radova
- informacije skupljene na lokaciji obuhvata

izradi i provede slijedeće:

- sistematizira, i na prikladan način prikaže podatke
- provede inicijalnu analizu podataka i postavi osnovne hipoteze
- provede potrebne analize primjenom metodologije koju smatra odgovarajućom
- definira utjecaj relevantnih parametara na slanost podzemnih voda
- donese zaključke temeljem rezultata provedenih analiza
- rezultate, po mogućnosti, potkrijepi mjerenjima
- postavi koncept djelovanja razmotrenih parametara na polje slanosti podzemnih voda u obuhvatu

U Splitu, 06.10.2018.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc.dr.sc. Veljko Srzić

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Doc. dr. sc. Veljko Srzić

Analiza mjerenja prikupljenih tijekom 2015.-2016. godine na lokaciji Diga

Sažetak: U ovom diplomskom radu obrađena su i analizirana mjerenja prikupljena na području uskog obalnog pojasa Dige (Donja Neretva), na samoj obali Jadranskog mora. Pomoću metoda: linearne regresije s pripadajućim koeficijentom korelacije; cross – korelacije te spektralne analize definirane su funkcionalne veze među parametrima, te je dana odgovarajuća interpretacija rezultata. Također su definirani utjecaji oborine, intenziteta i količine crpljenja CS Modrič te dugoperiodičkih oscilacija morske razine na dinamička svojstva ponašanja polja slanosti u području Dige.

Ključne riječi: mjerenja; linearna regresija; koeficijent korelacije; cross - korelacija; spektralna analiza; slanost

Analysis of the measurements collected during 2015. and 2016. at Diga location

Abstract: This thesis deals with analysis and interpretation of measured dana collected within coastal area called Diga, located at the south eastern coast of the Adriatic Sea. Analysis has been done by applying linear regression, cross – correlation and spectral analysis which yield the ratio of the interdependence of measured variables. The processes identification and the establishment of functional relationships between variables and the appropriate interpretation of the results is presented within the thesis. Besides measurement taken inside the boreholes, analysis determines influence of the operational modes of the pumping station Modrič, as well as precipitation and long term sea level, and their influence to salt cline dynamics.

Keywords: in-situ measurements; linear regression; coefficient of correlation; cross - correlation, spectral analysis; salinity

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Donja Neretva 1

1.2. Meteorološke postaje, hidrotehnički objekti, objekti monitoringa 2

2. NASTANAK I RAZVOJ DOLINE DONJE NERETVE 10

2.1. Dolina Neretve kroz geološku prošlost 10

2.2. Početak melioracije i izgrađeni sustavi 11

3. DOSTUPNI PODACI 14

3.1. Podaci o području obuhvata i izvršenim istražnim radovima 14

3.2. Podaci o pijezometrima 21

3.2.1. Metodologija mjerenja u P1 i grafički prikaz rezultata 22

3.2.2. Metodologija mjerenja u D1 i grafički prikaz rezultata 25

3.2.3. Problem nakon bušenja novih dubokih pijezometara 27

3.2.4. Mjerenja prilikom uzimanja uzoraka iz pijezometara 28

3.3. Podaci sa mareografa i limnigrafa 28

3.4. Crpne stanice 29

3.4.1. Crpna stanica Modrič 30

3.4.2. Crpna stanica Prag 31

3.5. Klimatološki podaci 32

4. KORIŠTENE METODE PRI ANALIZI PODATAKA 34

4.1. Regresijska analiza i pripadna korelacija 34

4.2. Spektralna analiza 38

4.2.1. Kod za spektralnu analizu 39

4.3. Cross - korelacija 40

4.3.1. Kod za proračun cross - korelacije 40

5. IDENTIFIKACIJA PROCESA I USPOSTAVA FUNKCIONALNIH VEZA U SUSTAVU 43

5.1. Rezultati regresijske analize i interpretacija istih 43

5.2. Rezultati spektralne analize i interpretacija istih 51
5.3. Rezultati cross – korelacijske analize i interpretacija istih 59
5.2.1. Sušno razdoblje 16. – 20.07.2015. 62
5.2.2. Sušno razdoblje 05. - 09.06.2016. 66
5.2.3. Kišno razdoblje 11.-15.10.2015. 69
5.2.4. Kišno razdoblje 04.-08.03.2016. 73
6. ZAKLJUČAK 77
7. LITERATURA 83

1. UVOD

1.1. Donja Neretva

Pod pojmom Donja Neretva podrazumijeva se područje (dolina) koje obuhvaća sliv donjeg toka rijeke Neretve između ušća rijeke Neretve u Jadransko more i Počitelja u Bosni i Hercegovini (dalje u tekstu BiH). Prema morfološkim i geografskim parametrima može se reći da rijeka Neretva u Počitelju prelazi iz planinske u nizinsku rijeku. Cijelo područje Donje Neretve je zapravo delta rijeke Neretve koja je nastala u nekadašnjem morskom zaljevu, kroz geološku prošlost, donošenjem materijala (aluvija) sa cijelog sliva rijeke Neretve. Površina hrvatskog dijela Donje Neretve, od granice s BiH do ušća, iznosi približno 11 000 ha [7,13].



Slika 1.1. Donja Neretva (delta)

Kao i kod većine svjetskih delti, područje Donje Neretve je iznimno plodno područje za uzgoj agrarnih kultura te kao takvo predstavlja jedno od najproduktivnijih agrarnih područja.

Za vodni režim otjecanja sa sliva karakterističan je obilat dotok vode u zimskom (kišnom) razdoblju, dok je u ljetnom (sušnom) razdoblju taj dotok značajno manji. S druge strane,

po rubu područja (na obali) je more sa svojom dinamikom i djelovanjem prema delti rijeke. Dakle, s jedne strane dotok sa sliva pale oborine, te s druge strane djelovanje mora čine dinamičnu ravnotežu u okviru koje se događa prodor soli (zaslanjivanje) cijelog područja Donje Neretve.

1.2. Meteorološke postaje, hidrotehnički objekti, objekti monitoringa

U dolini rijeke Neretve i u njezinom rubnom dijelu nalaze se tri meteorološke postaje: Ploče, Opuzen i Metković. Meteorološka postaja Ploče smatra se referentnom postajom na tom području, pa su iz tog razloga u daljnjoj analizi uzimani podaci s postaje Ploče. U dolini se nalaze i mnogi hidrotehnički objekti: nasipi za obranu od poplava, kanali za odvodnjavanje/navodnjavanje brodske prevodnice, crpne stanice.

Rad crpnih stanica i količina pale oborine definiraju stanje u kanalima i plitkom vodonosnom sloju.

Pod pojmom objekti monitoringa prvenstveno se misli na pijezometre (plitke i duboke) koji su instalirani na više lokacija od čega su četiri lokacije u samoj dolini rijeke Neretve, dok su još četiri pijezometra instalirana po rubu doline kako bi se pratio potencijal u dubokom vodonosnom sloju na rubu doline.. Na Slici 1.2. nalazi se prikaz položaja navedenih objekata. Na Slici 1.2. je također istaknuta Lokacija 1 jer će se ovaj rad baviti primarno procesima na toj lokaciji. Na Slikama 1.3. – 1.8. nalaze se neki od navedenih objekata.

Lokacija 1 nalazi se na nasipu Diga između ušća Neretve i Male Neretve, te su na toj lokaciji instalirani plitki i duboki pijezometar.

Lokacija 2 nalazi se unutar meteorološke postaje Agronomskog fakulteta u Zagrebu, na ovoj lokaciji su također instalirani plitki i duboki pijezometar.

Lokacija 3 nalazi se u dvorištu firme Neretvanski sliv, na ovoj lokaciji su također instalirani plitki i duboki pijezometar.

Lokacija 4 nalazi se kod CS Prag, u području Vidrice, na nasipu usisnog kanala. Na ovoj lokaciji su također su instalirani plitki i duboki pijezometar.

Hidrološka postaja Ustava ušće nizvodni je mareograf, nalazi se kod ušća Male Neretve u Jadransko more, s nizvodne strane ustave na Maloj Neretvi.

Hidrološka postaja Opuzen je limnigraf na rijeci Neretvi, nalazi se na rivi u Opuzenu, nizvodno od rukavca Male Neretve, na lijevoj obali rijeke Neretve.

Crpna stanica Modrič nalazi se na Desnoj obali Male Neretve, uzvodno od ustave na ušću Male Neretve u Jadransko more.

Crpna stanica Prag nalazi se na lijevoj obali Male Neretve, u području Vidrica.

Položaj meteorološke postaje Opuzen prikazana je na Slici 1.2., ali podaci s te postaje nisu razmatrani u analizama kojima se bavi ovaj rad.

Meteorološka postaja Ploče je referentna meteorološka postaja na promatranom području, te su podaci s nje razmatrani u analizama u ovom radu.

Na profilu u Kominu na rijeci Neretvi se u ljetnim mjesecima uzimaju uzorci vode. Isto vrijedi i za Opuzen, gdje se u profilu limnigrafa uzimaju uzorci vode. Uzorci vode uzimaju se i u plitkim i u dubokim pijezometrima na lokacijama 1-4. Ti uzorci šalju se na analizu na Agronomski fakultet u Zagreb.



Slika 1.2. Položaj hidroloških i meteoroloških postaja, hidrotehničkih objekata i objekata monitoringa u dolini rijeke Neretve



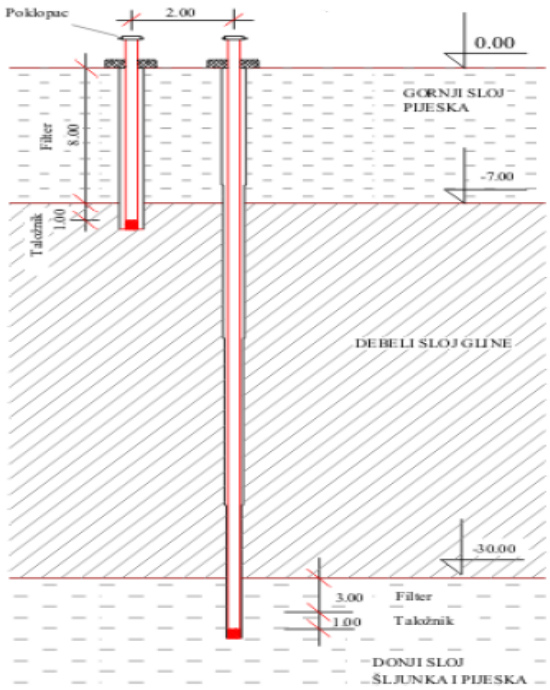
Slika 1.3. Meteorološka postaja Ploče

Na Slici 1.3. nalazi se referentna meteorološka postaja na promatranom području.



Slika 1.4. Crpna stanica Modrič i mareograf HP UUN

Na Slici 1.4. strelicama je označen položaj CS Modrič i mareografa. CS Modrič prepumpava vodu iz usisnog bazen u Malu Neretvu. Mareograf se nalazi u uskom kanalu između otoka Osinj i malog otočića koji je nastao izgradnjom brodske prevodnice na Maloj Neretvi.



Slika 1.5. Shematski prikaz prlitkog i dubokog pijezometra

Na Slici 1.5. nalazi se shematski prikaz plitkog i dubokog pijezometra. Na sve četiri lokacije u području doline pijezometri su trebali biti izvedeni na sljedeći način:
- plitki pijezometri do dubine od nekih deset metara, a perforirani po cijeloj visini, kako bi pratili stanje u plitkom vodonosnom sloju (praćenje razine, temerature, elektrovodljivosti, pH vrijednosti i mutnoće podzemne vode u plitkom sloju)

- duboki pijezometri su trebali biti izvedeni na način da zadiru u duboki vodonosni sloj, budu perforirani do sloja gline, i prvenstveno prate dinamička stanja u vodonosniku pod tlakom (praćenje potencijala u dubokom vodonosnom sloju).

No, prilikom izvođenja radova na novim dubokim pijezometrima došlo je do pogreške, te su cijevi dubokih pijezometara perforirane po cijeloj visini, i tako ugrađene u bušotine. Kako je potencijal u dubokom sloju viši od razine vodnog lica u plitkom sloju, voda se iz dubokog pijezometra procjeđuje u okolni teren i narušava prirodno stanje u plitkom vodonosnom sloju. Odnosno, nakon izvođenja radova na novim dubokim pijezometrima, plitki pijezometri više ne pokazuju realnu situaciju jer se prihranjuju vodom iz dubokih slojeva, to vrijedi za sve četiri lokacije.



Slika 1.6. Plitki i duboki pijezometri na Lokaciji 1 – nasip Diga

Slika 1.6. prikazuje pijezometre na lokaciji 1, tj. na nasipu Diga. Stari pijezometri na ovoj lokaciji izvedeni su 2009. godine. Radovi na novom plitkom pijezometru započeti su početkom 2015. godine. Pijezometar je izrađen od inox cijevi vanjskog promjera 139,70 mm, u koju je instalirana multiparametarska sonda Manta2, a pušten je u rad 02.03.2015. godine. Radovi na novom dubokom pijezometru trajali su od 11.07. – 01.08.2016. godine, izrađen je od inox cijevi promjera 139,70 mm. Zbog greške u izvođenju pijezometar nije opremljen sondom. Umjesto u novom dubokom pijezometru, sonda se nalazi u starom dubokom pijezometru.



Slika 1.7. Limnigraf HP Opuzen

Slika 1.7. prikazuje položaj limnigrafa u Opuzenu. Isti se nalazi na rivi u Opuzenu, na lijevoj obali rijeke Neretve, nizvodno od rukavca prema ustavi na Maloj Neretvi.



Slika 1.8. CS Prag i pijezometri na Lokaciji 4

Slika 1.8. prikazuje položaj CS Prag, i položaj pijezometara na lokaciji 4. CS Prag nalazi se na lijevoj obali Male Neretve, u području Vidrica. Stari pijezometri na ovoj lokaciji izvedeni su 2009. godine. Radovi na novom plitkom pijezometru započeti su početkom 2015. godine. Pijezometar je izrađen od inox cijevi vanjskog promjera 139,70 mm, u koju je instalirana multiparametarska sonda Manta2, a pušten je u rad 02.03.2015. godine. Radovi na novom dubokom pijezometru trajali su od 11.07. – 01.08.2016. godine, izrađen je od inox cijevi promjera 139,70 mm. Zbog greške u izvođenju pijezometar nije opremljen sondom. Umjesto u novom dubokom pijezometru, sonda se nalazi u starom dubokom pijezometru.

2. NASTANAK I RAZVOJ DOLINE DONJE NERETVE

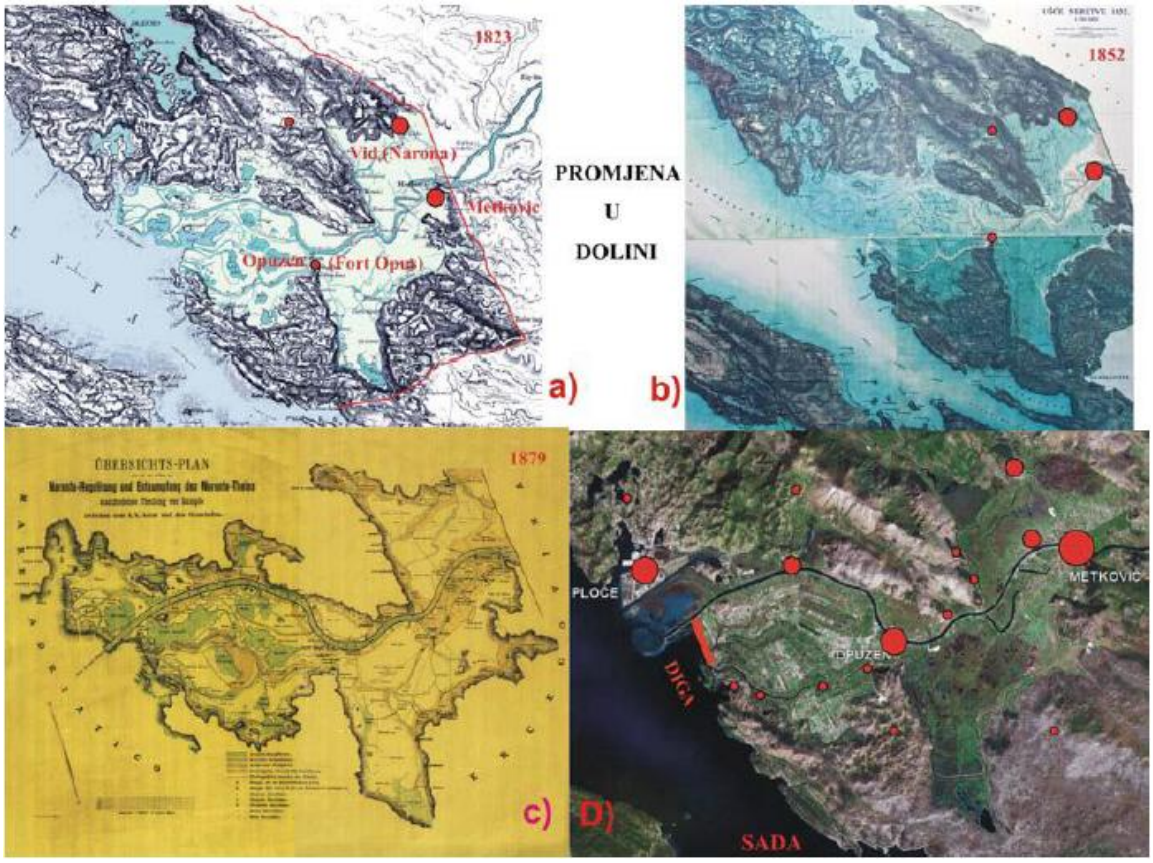
2.1. Dolina Neretve kroz geološku prošlost

Sami nastanak doline Donje Neretve vezan je uz tektoniku. Masiv koji ograđuje dolinu između Metkovića i ušća, kao i njenu osnovu, izgrađuju karbonatne naslage jure, krede, paleocena i eocena, dok samu dolinu izgrađuju kvartarne naslage [7]. Kronološki gledano, najstarije naslage na terenu su dolomiti i vapnenci jure te se može reći da je to vrijeme početak stvaranja doline. Krajem jure dolazi do orogenetskih pokreta, izdizanja terena i okršavanja po površini i u dubini. Početkom krede, spušta se kopno, odnosno dolazi do transgresije te taloženja pretežno vapnenačkih naslaga. Krajem gornje krede, nakon izdizanja šireg područja Dinarida, stvoreni su uvjeti za pojačan razvoj procesa okršavanja. Uslijed velike razlomljenosti, omogućen je razvoj podzemnih vodnih veza, dok se na površini formiraju krške depresije. Završetkom krede, odnosno početkom pleistocena dolazi do nove transgresije u kojem se talože plitkovodni vapnenci. Kroz eocen dolazi do sedimentacije flišnih naslaga, da bi njegovim završetkom došlo do snažnih tektonskih pokreta, koji ponovno izdižu teren, boraju ga i lome, što površinskim vodama omogućuje jače korozijsko i erozijsko djelovanje, a podzemnim stvaranje novih puteva i veza, te širenje postojećih. Jaki tektonski pokreti se nastavljaju kroz oligocen, kada se definitivno izdižu velika područja Dinarida, što dovodi do velikih promjena u strukturama. Na koncu, otkrivene karbonatne naslage zahvaćene su novim procesima okršavanja koji traju do danas. U neogenu dolazi do laganih tonjenja i izdizanja kopna uslijed kojih i danas dolazi do ponovnih horizontalnih i vertikalnih kretanja po starijim rasjedima. Za razvoj i oblikovanja danas vidljivih osnovnih struktura i same doline Neretve možemo reći da je došlo kroz neogen. Uslijed pokreta koji su se dogodili početkom kvartara, došlo je do izdizanja koja su formirala današnje visine planina.Današnja dolina Neretve formirana je krajem pleistocena (Ledeno doba), kada se posljednjim ciklusom promjene razine mora ono podignulo za otprilike 100 m. Također, u pleistocenu je počelo i spuštanje tog područja, a koje traje i danas.Kako je već spomenuto, sama dolina je izgrađena od kvartarnih sedimenata, taloženjem erodiranog materijala sa cijelog slivnog područja rijeke Neretve u nekadašnjem morskom zaljevu. Izdizanjem morske razine erodirani materijal se slojevito taložio u prostoru nekadašnjeg zaljeva u kojem je danas dolina. Među sedimentima od kojih je izgrađena dolina, najzastupljeniji su šljunci, pijesci s različitim udjelom gline i gline s različitim udjelom praha, pijeska i organske materije koji se

izmjenjuju u horizontalnom i vertikalnom smjeru, ali neravnomjerno. Detaljniji opis i prikaz kvartarnih naslaga od kojih je dolina izgrađena, dan je poglavlju 3.1., gdje se analizira uže područje doline, od interesa za ovaj rad.

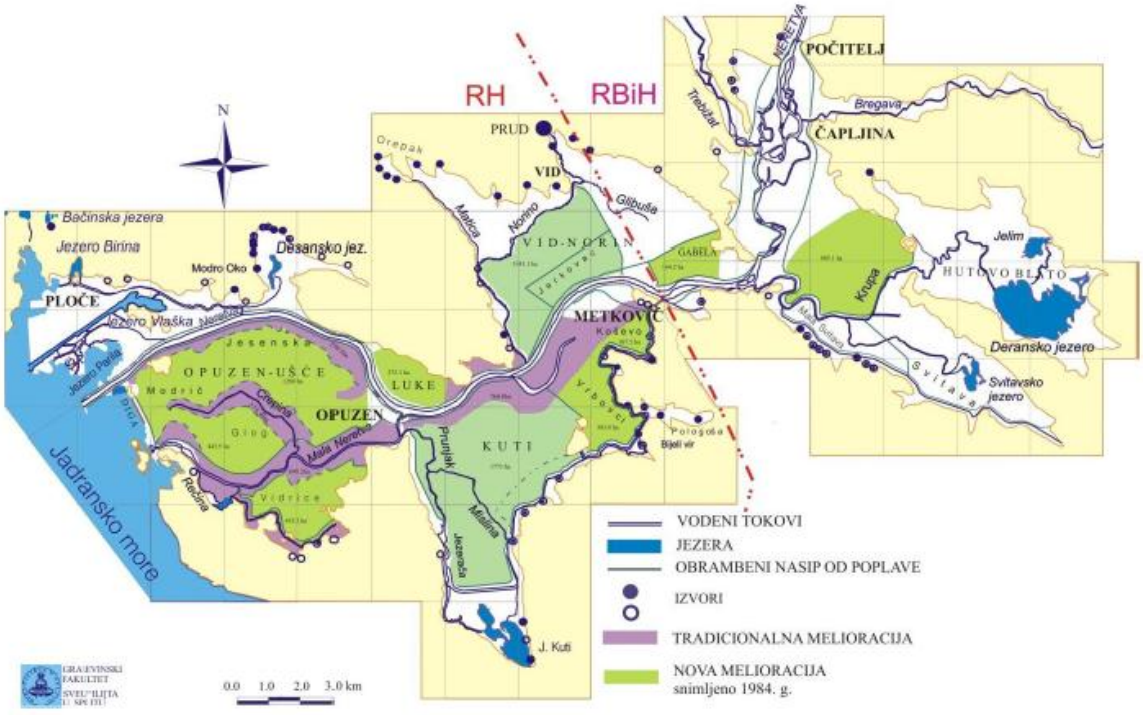
2.2. Početak melioracije i izgrađeni sustavi

Za vrijeme Mletačke republike, nakon pada Turaka, uvidjevši kakav potencijal dolina ima, počinje se s planovima uređenja toka rijeke Neretve u području ušća [13]. Međutim, do prvih radova dolazi tek pod austrijskom vlašću. Godine 1841. austrijska vlada šalje inženjera Dominika Mattheisa iz Verone da prouči problem Donje Neretve. Tada je napravljena prva visinska izmjera uz Neretvu od Metkovića do ušća te predložena melioracija kolmiranjem pomoću voda iz Neretve. Mattheis je procijenio da bi za kolmaciju bilo potrebno 70 godina. Značajniji hidrotehnički radovi na regulaciji rijeke urađeni su između 1881. i 1889. godine. Izgrađeni su nasipi, a na pojedinim mjestima je korigirano korito kako bi se omogućila plovnost puta od ušća do Metkovića (Slika 2.1.). Međutim, kako pokušaj da se tlo učini obradivimu kolmacijom uglavnom nije dao rezultata, zemljište je ostalo nemeliorirano.



Slika 2.1. Razvoj Donje Neretve kroz povijest

Početkom 20. stoljeća ponovno se pokreće pitanje melioracije Donje Neretve. Izrađen je značajan broj projekata, da bi na kraju bio usvojen "Projekt regulacije toka rijeke Neretve", kojeg su izradili stručnjaci FAO-a 1963. godine i koji je do danas djelomično ostvaren. Melioracije su bile temeljene na isušivanju močvara, zatvaranju rukavaca i navodnjavanju umjetnim ili prirodnim kišenjem. Područje čitave delte podijeljeno je na šest melioracijskih zona na kojima je trebalo biti provedeno melioriranje zemljišta kao i njegovo privođenje kulturama. U navedenom periodu, kada su obavljeni radovi, obuhvaćene su samo tri zone: Luke, Koševo-Vrbovci i Opuzen ušće [2,13].

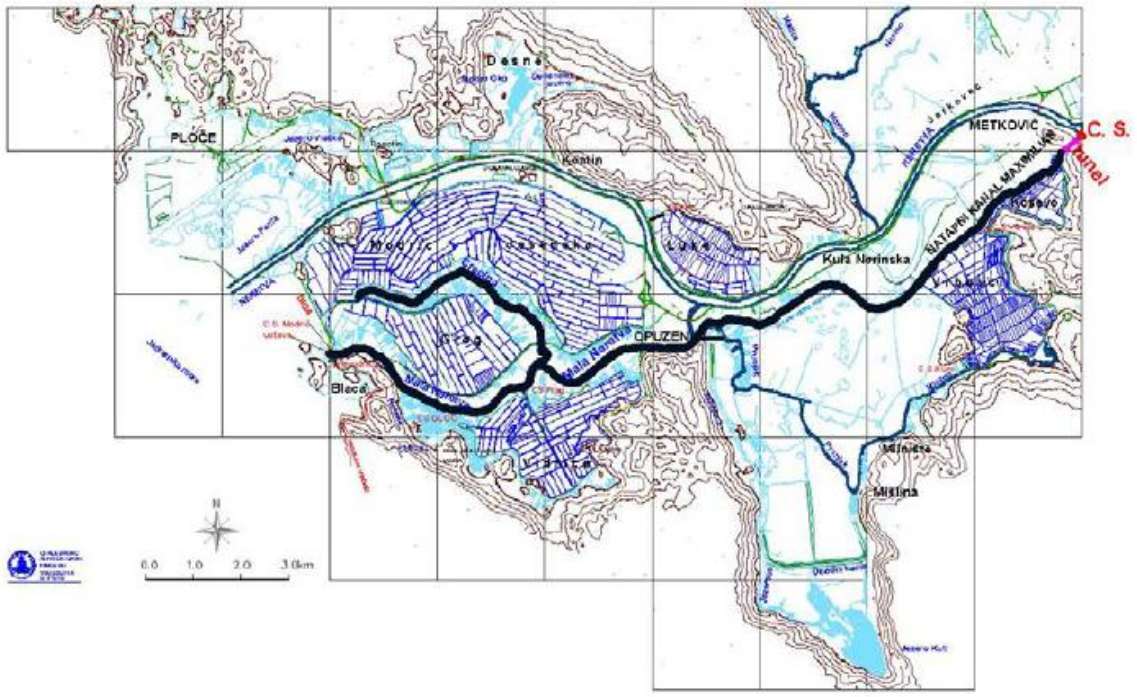


Slika 2.2. Područje Donje Neretve podijeljeno na melioracijske zone

Trenutno stanje sustava, kakvog su zamislili FAO stručnjaci je započeto, međutim nikada nije dovršeno. Voda se zahvaća uzvodno od Metkovića, preko crpne stanice koja je smještena na pontonima. Ova lokacija je odabrana jer tu voda nije zaslanjena. Količina zahvaćene vode iznosi 7.5 m^3/s, što se tlači kroz tunel Predolac u natapni kanal Maksimilijan. Iz natapnog kanala voda se ulijeva u Prunjak, preko kojeg dolazi u Malu Neretvu (vidi Sliku 2.3.). Ideja je bila da će se na taj način u Maloj Neretvi i kanalu Crepina osigurati dovoljne količine nezaslanjene vode za navodnjavanje. Nezaslanjena voda bi se zatim dovodila do obradivih površina putem crpnih stanica. Iz tog razloga su u Opuzenu i na ušću Male Neretve izgrađene ustave s brodskom prevodnicom, čije su zadaće

da spriječe dotok soli u Malu Neretvu. Mana ovog rješenja navodnjavanja je u tome, što od 7.5 m^3/s koji se zahvaćaju, do Male Neretve stigne neznatni dio, a koji se prolaskom kroz kanal i zaslani. Većina kanala je izgrađena u tresetnom tlu te je njegovo održavanje iznimno teško i skupo. Naime, dolazi do njegova slijeganja i deformiranja. Također, treba naglasiti da se ovim rješenjem troši značajna količina energije na rad crpnih agregata.

Iz svega gore navedenog, može se zaključiti da se radi o neracionalnom i neekonomičnom rješenju, kojeg bi trebalo u što kraćem vremenskom periodu zamijeniti [13].



Slika 2.3. Sadašnje stanje navodnjavanja

Odvodnja unutarnjih voda je riješena crpljenjem. Na cijelom području postoje dvije značajne crpne stanice, Modrič i Prag. Preko CS Modrič se odvodnjava čitavo područje Opuzen-ušće, dok se preko CS Prag odvodnjava područje Vidrice.

Što se tiče sustava obrane od poplava treba napomenuti da ono slabo ili gotovo ne štiti značajne površine od poplavnih voda (grad Metković, Opuzen, područje Vidrice i skoro cijeli privatni kompleks poljoprivrednih površina).

3. DOSTUPNI PODACI

Tijekom posljednjih šezdesetak godina (od 1960. godine pa do danas), na području doline su izvršena razna mjerenja koja su pokušala definirati karakteristike sustava kao i procese u njemu. Osim tih istraživanja, u novije vrijeme su vršena mjerenja zaslanjenosti vode i tla s ciljem kako bi se definirali procesi koji se u sustavu događaju, odnosno kako bi se odredio način na koji se događa prodor mora u područje. Također, od 2009. godine uspostavljen je monitoring na području Donje Neretve, čime se došlo do dodatnih podataka iz mjerenja vrijednih za ovaj rad.

3.1. Podaci o području obuhvata i izvršenim istražnim radovima

Iz istražnih radova koji su rađeni 60-ih godina prošlog stoljeća, za područje od Opuzena do ušća, gledajući od površine prema dubini, određen je ovakav slijed, sastav i hidrogeološke značajke kvartarnih naslaga [7]:

-na dubini do tri metra registrirane su prašinaste i organske gline (treset) te ilovača. Hidraulička vodljivost za ovaj sloj je prilično zanemariva i iznosi: $K= 2{,}62*10^{-8}$ – $2{,}14*10^{-10}$ m/s. Ispod prvog sloja, nalazi se sloj pjeskovitog materijala. Sastav mu varira od srednjezrnastog i krupnozrnastog do zaglinjenog i prašinastog. Na većem dijelu debljina tog sloja iznosi 5-10 m, osim u uskom pojasu oko Male Neretve, gdje je registrirana u maksimalnoj debljini od 20 m. Podzemne vode su registrirane na dubinama između 0,5 m i 5 m, što ovisi o debljini gornjeg sloja na pripadnoj lokaciji.Analiziranjem hidrauličke vodljivosti predložene su srednje vrijednosti za promatrano područje i one iznose [7]:

- istočni i sjeverni dio: K= 2 m/dan
- južni dio: K=4,5 m/dan
- zapadni dio: K=3 m/dan
- područje blizu Opuzena: K=25 m/dan
- područje ušća: K=20 m/dan

Iz pokusnog crpljenja koje je provedeno 1962. godine, za područje Opuzen-Modrič, dobivena je prosječna hidraulička vodljivost $K=2.34*10^{-4}$ m/s [7], a za područje Vidrica $K=1.84*10^{-4}$ m/s [4,5]. Ovaj sloj će se u narednom dijelu ovog rada zvati plitki vodonosni sloj. Plitki vodonosni sloj ima najveće značenje u melioracijskom smislu.

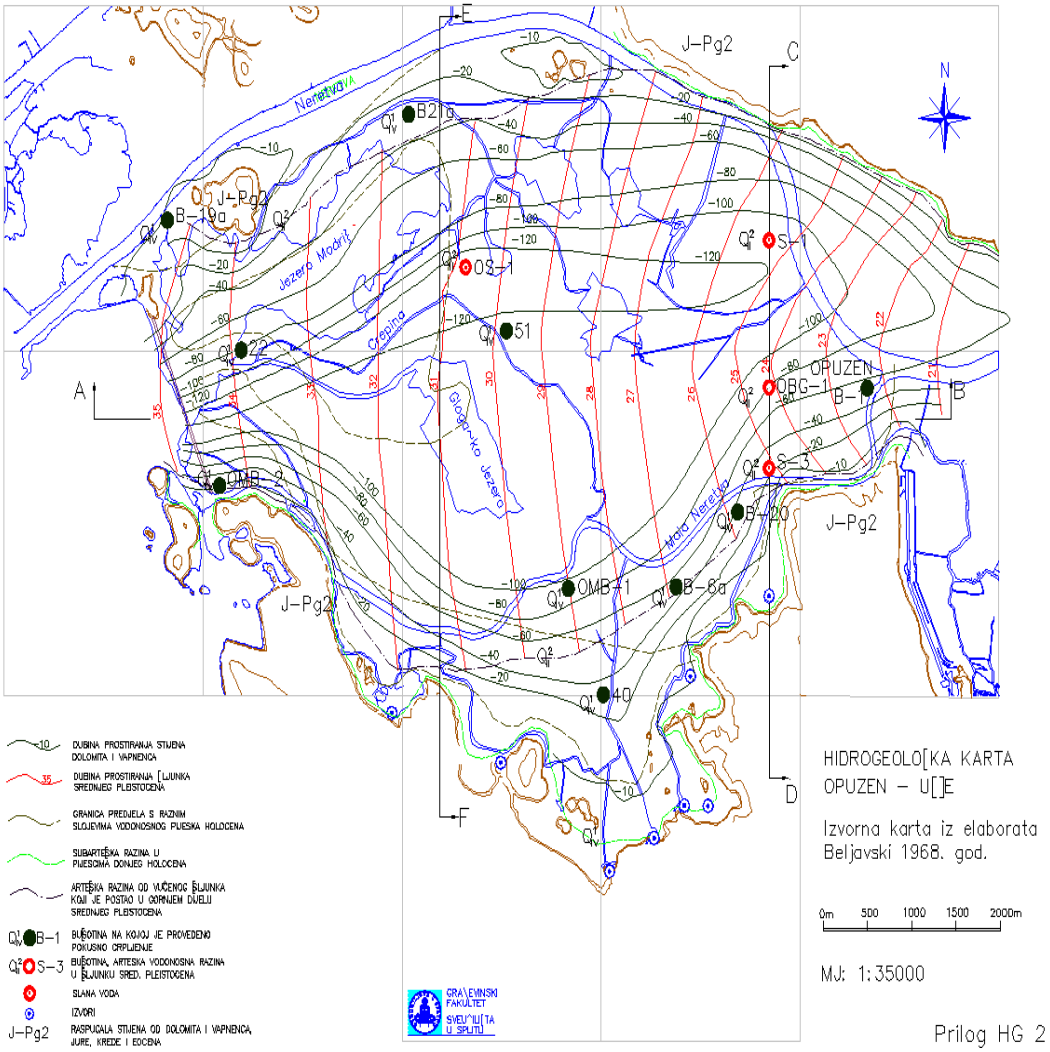
Ispod pjeskovitog plitkog vodonosnika nalazi se, na dubini između 8 i 10 m, sloj muljevite gline (ilovače). Unutar ovog sloja mogu se pronaći proslojci prašinastog pijeska i pješčanih

leća. Ovaj sloj je zasićen vodom, a debljina mu se povećava u smjeru mora, tako da kod ušća postiže debljinu od približno 40 m [7]. Hidraulička vodljivost za pojedine materijale u ovom sloju iznosi: za pjeskovite gline: K=0.0004 m/dan, a za prašinaste gline: K=0.01 – 0.006 m/dan.

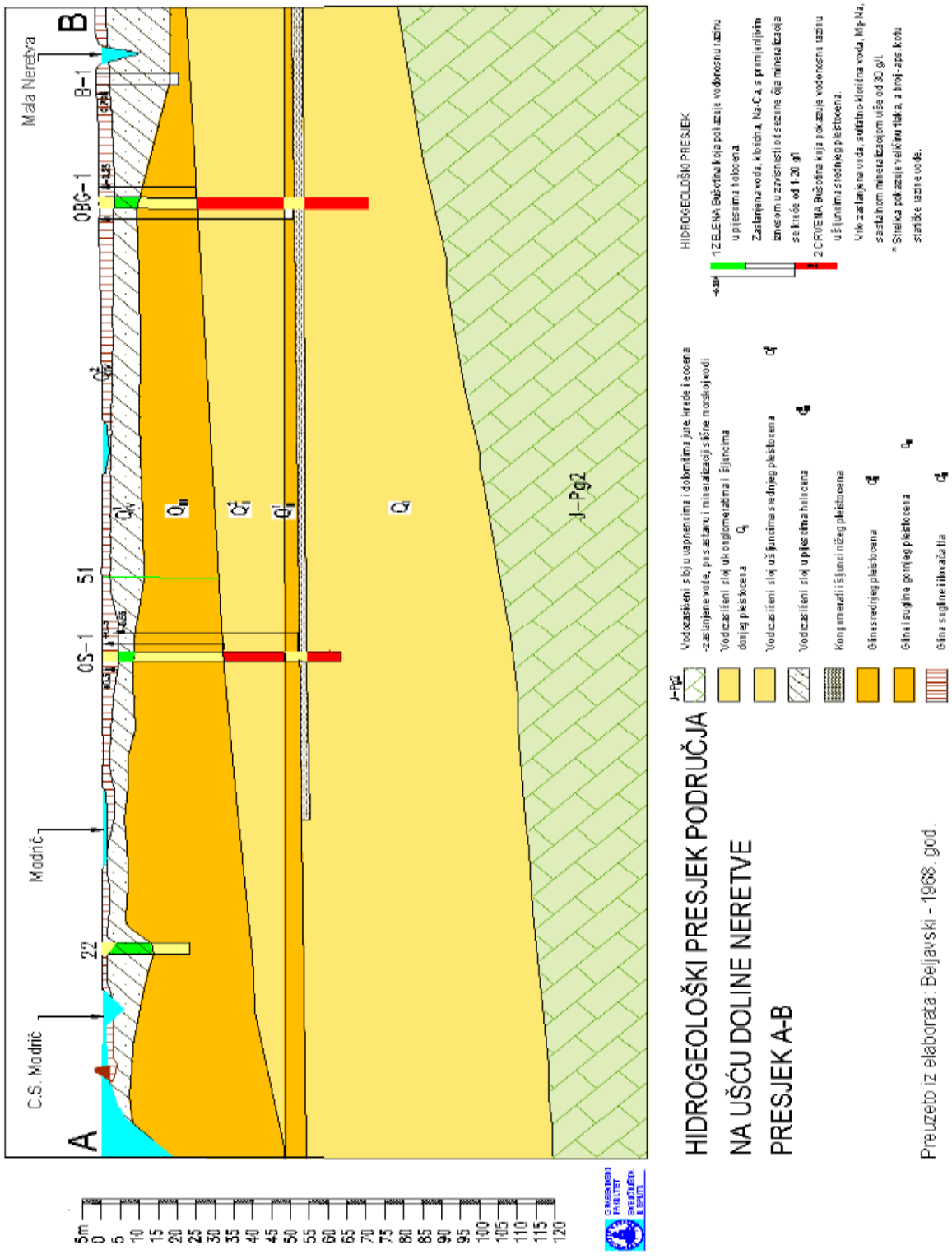
Ispod sloja gline, slijedi sloj šljunka s različitim udjelom pijeska i na nekim mjestima gline (drugi vodonosni sloj). Procjenjuje se da je debljina ovog sloja kod Opuzena između 24 i 26 m, u srednjem toku Crepine 16-17 m, a u sjevernom i južnom dijelu doline 12-14 m. Sloj u potpunosti isklinjava kod ušća Neretve. Donja granica ovog sloja nalazi se na dubini između 40 i 50 m. Ovaj sloj je zasićen vodom koja se nalazi pod tlakom u arteškom stanju. Procijenjeni koeficijent propusnosti za ovaj sloj, šljunak sa pijeskom, iznosi: K=30 m/dan.

Slijedi sloj gline, debljine 3-4 m. Ispod gline je određen sloj nakupine vapnenačkog materijala debljine 3-6 m. Ovaj sloj se pruža iz smjera Opuzena prema moru, ali ne ide do mora, već se gubi kod nekadašnjeg jezera Modrič.

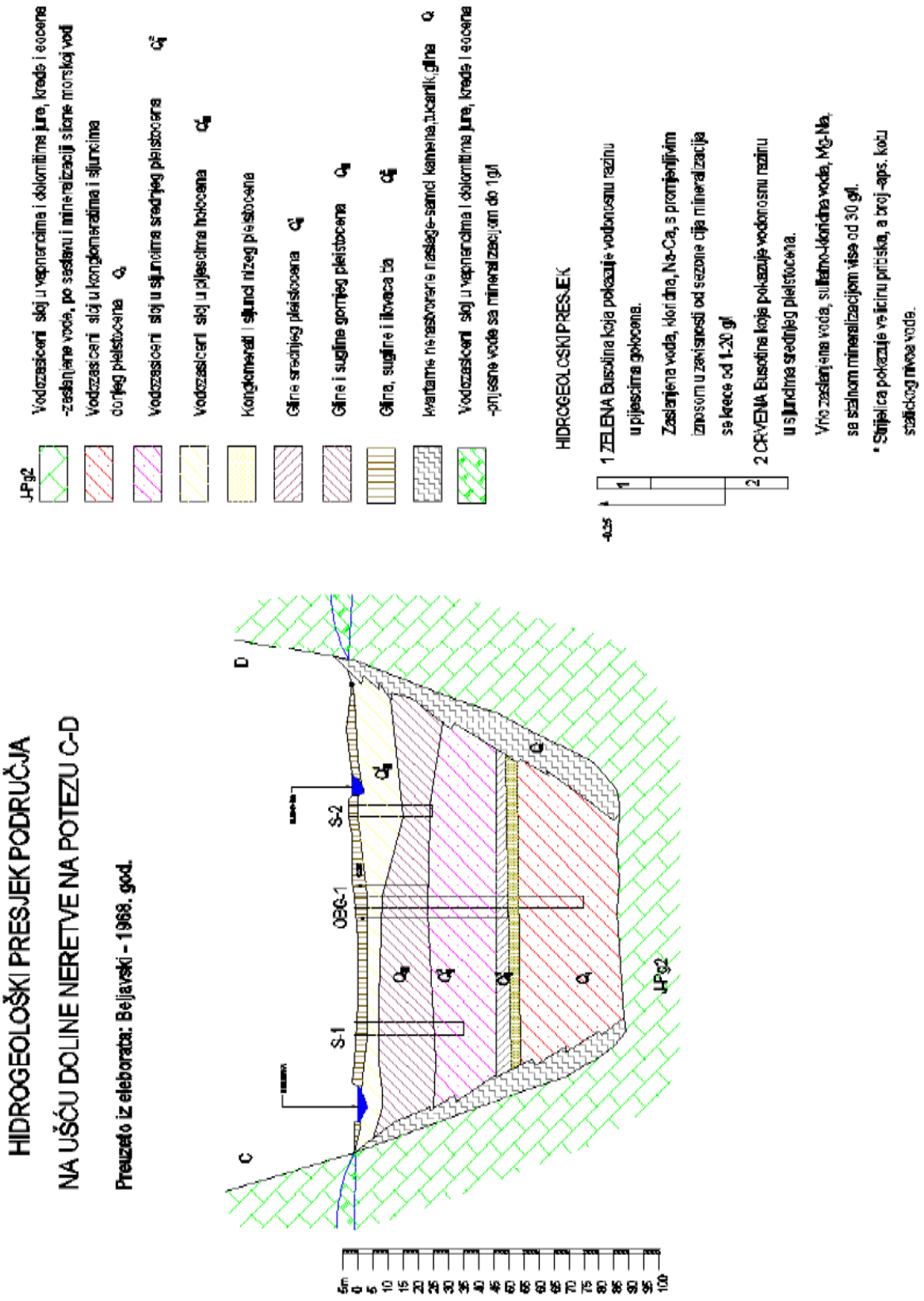
Posljednji sloj (treći vodonosni sloj) prije zasićenog okršenog sloja dolomita i vapnenaca je sloj šljunka, čija je debljina 15-60 m i koja se povećava u smjeru ušća. Ovaj sloj se, kao i drugi vodonosni sloj, nalazi pod tlakom u arteškom stanju. Radi jednostavnosti opisa te definiranja veza i parametara, drugi i treći vodonosni sloj iz gornjeg opisa će se promatrati kao jedan i u daljnjem tekstu će se zvati vodonosnik pod tlakom, odnosno tanki slojevi gline i nakupina vapnenca će se zanemariti (vidi Sliku 3.5). Treba napomenuti da su donji slojevi područja (vodonosnik pod tlakom), odnosno njihov sastav i debljina, interpretirani iz malog broja bušotina i da se ti rezultati moraju uzeti s izvjesnom rezervom. Detaljni prikaz područja sa svim relevantnim slojevima koji su prethodno opisani, dan je na Slikama 3.1 – 3.5.



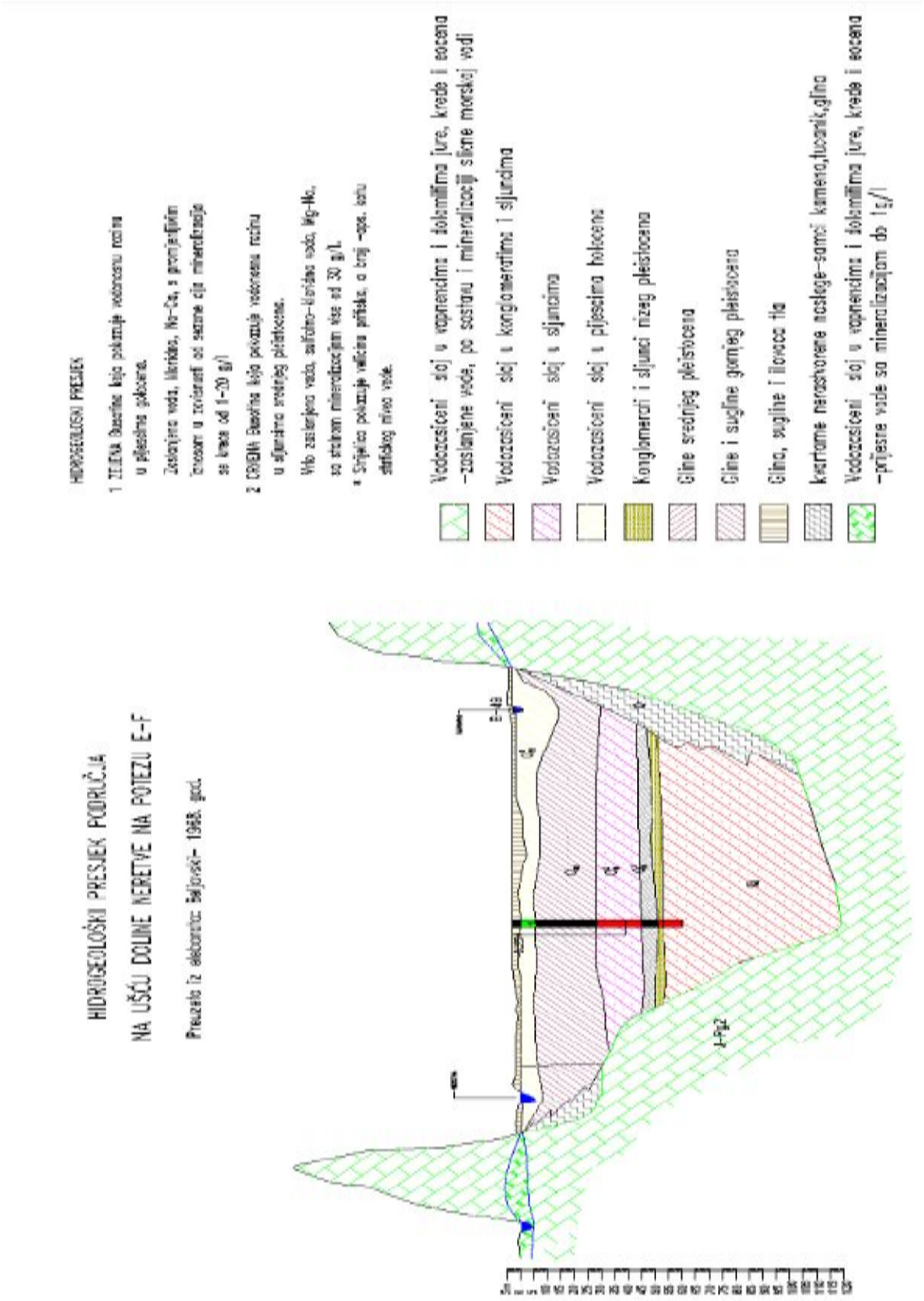
Slika 3.1. Hidrogeološka karta Donje Neretve



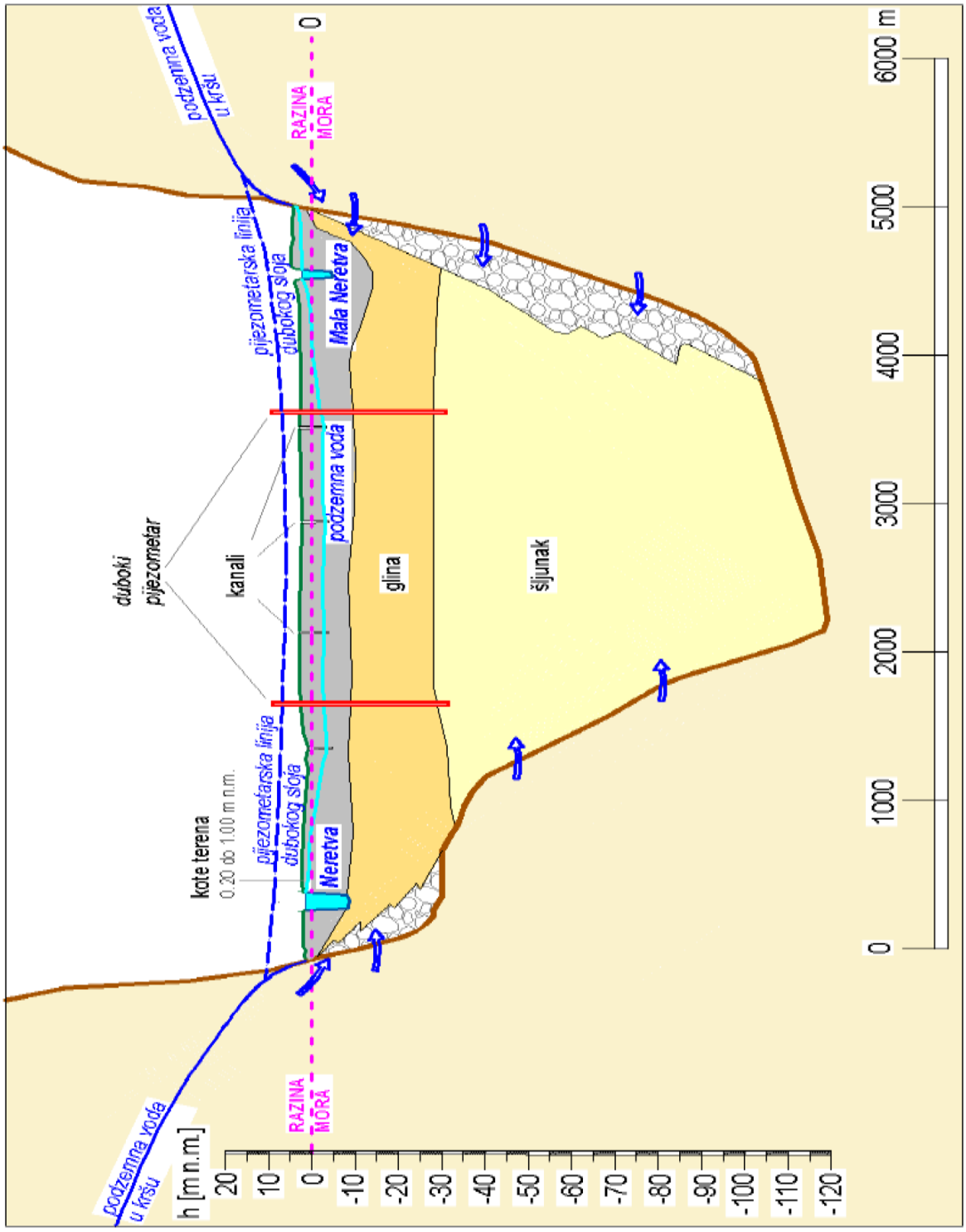
Slika 3.2. Hidrogeološki presjek područja, presjek A-B



Slika 3.3. Hidrogeološki presjek područja, presjek C-D



Slika 3.4. Hidrogeološki presjek područja, presjek E-F



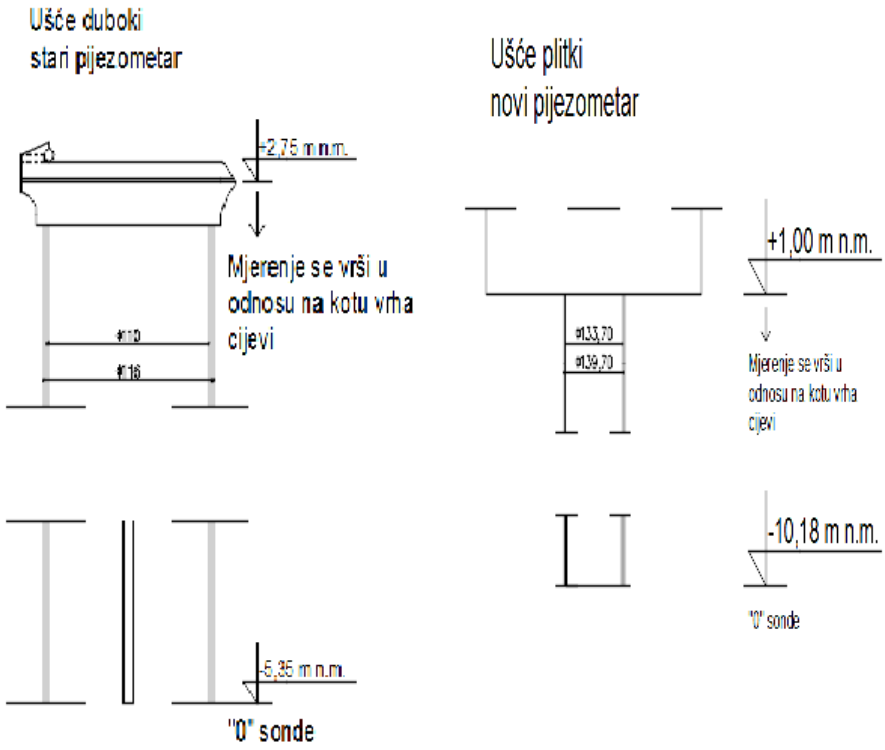
Slika 3.5. Idealizirano stanje vodonosnih slojeva

3.2. Podaci o pijezometrima

Tokom istraživanja koja se odvijaju od 1995. godine, na četiri lokacije unutar područja obuhvata instalirani su pijezometri P1-P4 (vidi Sliku 1.2.). Na svakoj od pojedinih lokacija ugrađena su po dva pijezometra, plitki i duboki. Oznaka P1 označava pijezometre na lokaciji Ušće, P2 na lokaciji Meteorološka postaja, P3 na lokaciji Dvorište, a P4 na lokaciji Vidrice.

U daljnjem tekstu plitki pijezometri će se obilježavati s velikim slovom P (P1-P4), a duboki s velikim slovom D (D1-D4). Plitki pijezometri su izbušeni kroz plitki vodonosni sloj do sloja gline i preko njih se prati pijezometarsko stanje u plitkom (pješčanom) vodonosnom sloju (vidi Sliku 3.6.).

Duboki pijezometri su izbušeni do vodonosnog sloja pod tlakom. Cijev prolazi kroz debeli sloj gline i ulazi u vodnosnosnik pod tlakom. Ovim pijezometrima prati se pijezometarsko stanje u vodonosnom sloju pod tlakom (šljunčanom, vidi Sliku 3.6.). Sve cijevi dubokih pijezometara su na dijelu ispod gline perforirane da bi se dobilo stanje vode u vodonosniku pod tlakom. Perforacija cijevi plitkih pijezometara prisutna je kroz cijeli plitki vodonosni sloj. Sve cijevi su na mjestima perforacije zaštićene od eventualnih nečistoća.



Slika 3.6. Presjek starog dubokog i novog plitkog pijezometra na lokaciji 1, s pripadajućim kotama

Sve visinske kote koje će biti prikazivane u daljnjem tekstu referirane su na nulu TRST sustava (stari datum) utvrđenu elaboratom tvrtke Geodata pod nazivom „Geodetska izmjera pijezometara u dolini rijeke Neretve i slivu rijeke Jadro“.
Što se tiče mjerenja u pijezometrima, na raspolaganju su dvije vrste podataka:
1) kontinuirana mjerenja u plitkim i dubokim bušotinama

2) mjerenja odrađena prilikom uzimanja uzoraka pri terenskim obilascima, od svibnja do listopada svake godine.

3.2.1. Metodologija mjerenja u P1 i grafički prikaz rezultata

U plitkom pijezometru nalazi se mjerna sonda Manta 2. Ova sonda je multiparametarska, što znači da u zadanim vremenskim intervalima može mjeriti čitav niz parametara, te ih pohranjivati u vlastitu internu memoriju. Parametri izmjereni pomoću ove sonde koji će se promatrati su razina podzemne vode u plitkom vodonosnom sloju; elektrovodljivost i temperatura. Na promatranoj lokaciji sonda bilježi podatak svako sat vremena.
Kota „0“ sonde je -10.18 m n.m., u odnosu na tu točku sonda mjeri razinu vode.

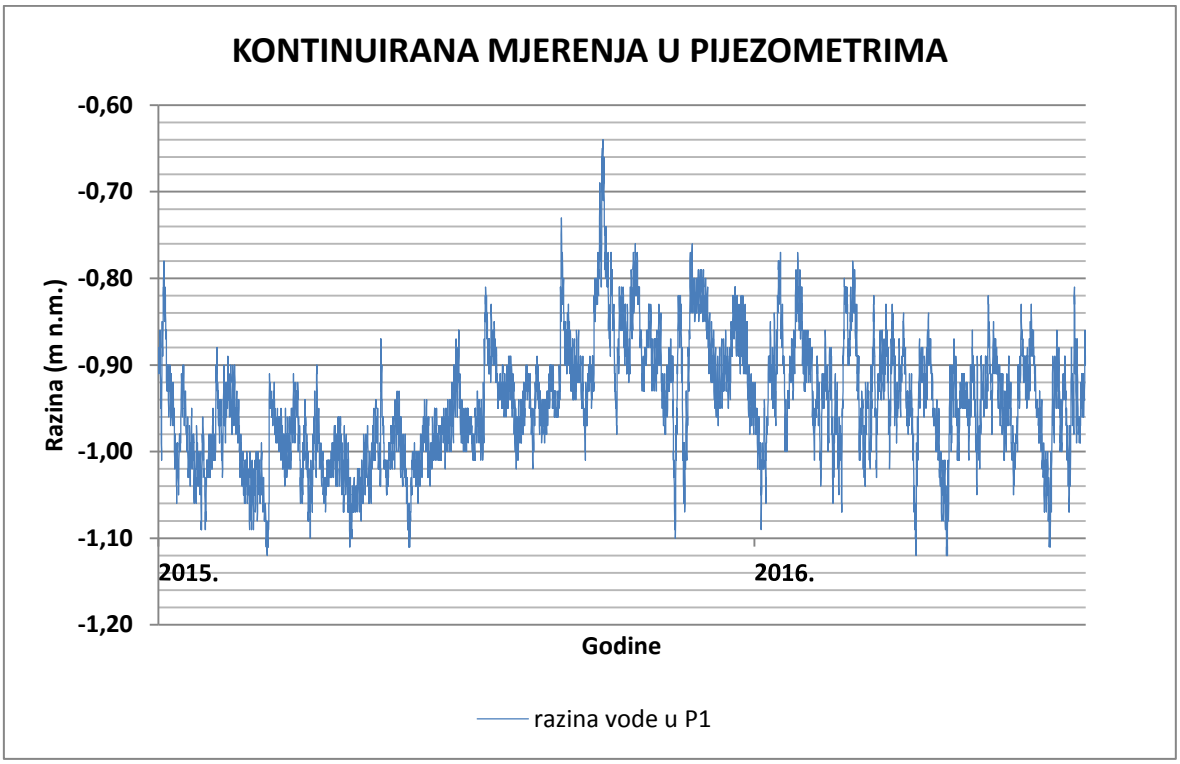


Slika 3.7. Sonda Manta 2

Podaci sa lokacije P1 dostupni su za vremenski period 02.03.2015. – 31.12.2016. s tim da za period 11.07.2016. – 01.08.2016. podataka nema.

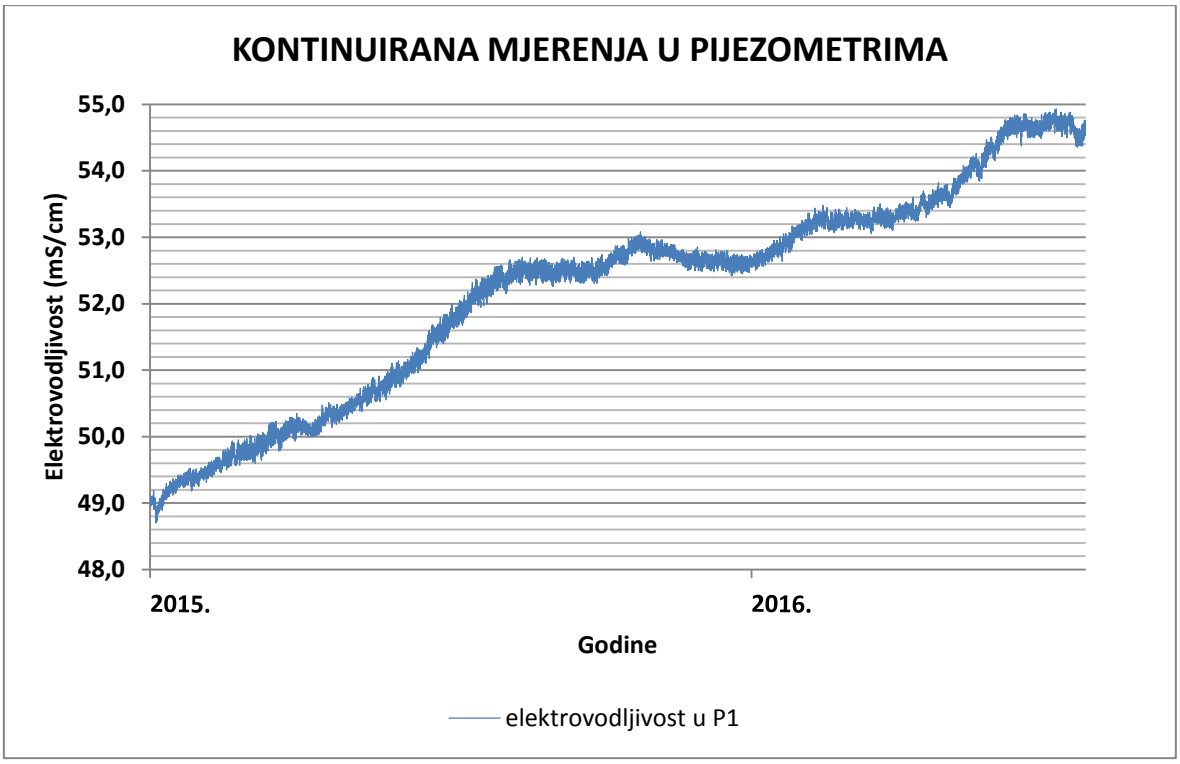
Početak vremenskog niza podataka je 02.03.2015. jer je tog dana multiparametarska sonda Manta2 montirana u bušotinu i puštena u rad. Razlog zbog kojeg za vremenski period 11.07.2016. – 01.08.2016. nema podataka jest izvođenje radova na novoj dubokoj bušotini. Naime, radovi su izvođeni u neposrednoj blizini postojećih bušotina, pa su sonde, da bi se izbjegla oštećenja, bile demontirane iz bušotina do završetka radova. Nakon završetka radova, tj. od 01.08.2016. sonda je ponovno montirana u bušotinu, no zbog pogreške u izvođenju radova, a koja će biti objašnjena u točki 3.2.3. ovog rada, podaci nakon izvođenja radova na novoj dubokoj bušotini se ne uzimaju u obzir pri analizi, pa stoga ovdje neće biti ni prikazani.

Na Slikama 3.8. – 3.10. nalazi se grafički prikaz podataka iz pijezometra P1 za vremenski period 03.03.2015. – 16.06.2016. jer su za taj period podaci kontinuirani.



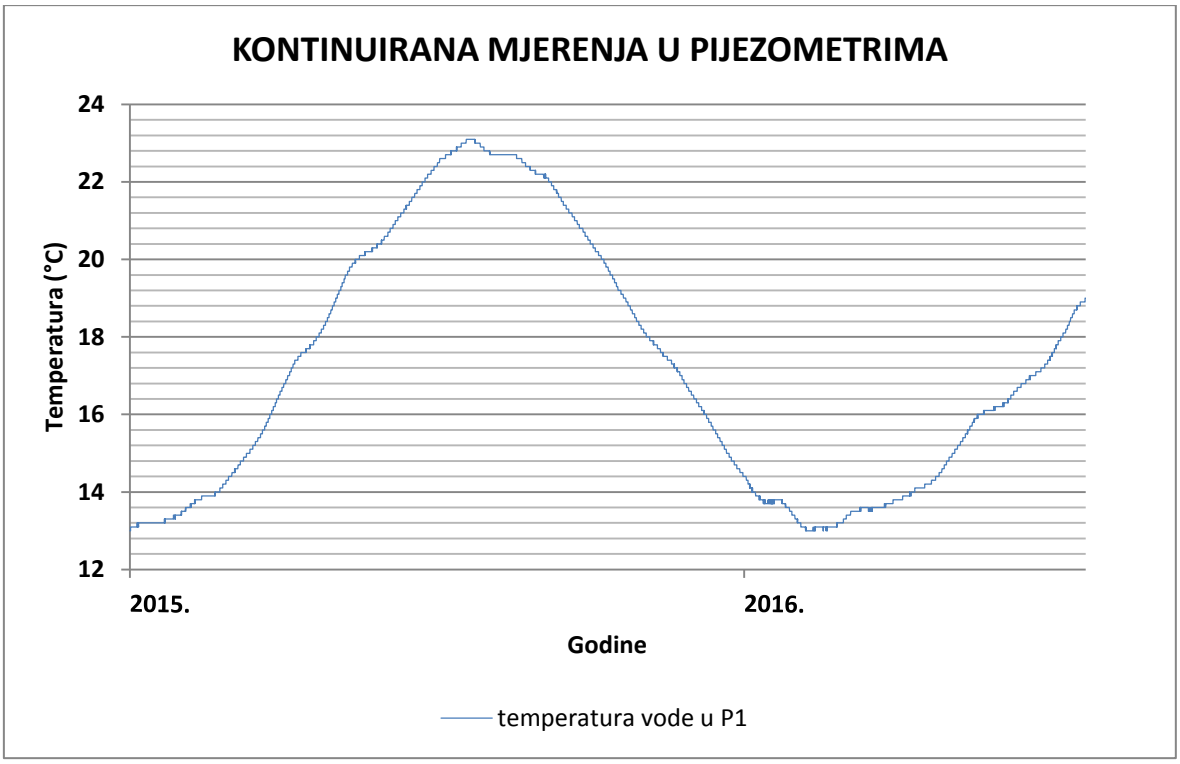
Slika 3.8. Grafički prikaz apsolutnih razina vode u pijezometru P1

Promatrajući Sliku 3.8. može se naslutiti utjecaj oscilacija mora (plima i oseka) na oscilacije razine vode u pijezometru P1. Također se vidi da se razina vode (vodno lice) u promatranom, neporemećenom periodu, ne penje iznad -0,64 m n.m. što je , visinski gledano, ispod razine mora.



Slika 3.9. Grafički prikaz elektrovodljivosti u pijezometru P1

Promatrajući Sliku 3.9. vidi se da je elektrovodljivost u bušotini generalno u porastu kroz promatrano razdoblje. Također, osim na samom početku mjerenja, kreće se iznad 50 mS/cm.



Slika 3.10. Grafički prikaz temperature vode u P1

Promatrajući Sliku 3.10. vidi se da je najniža temperatura vode u pijezometru P1 oko 13 ^{o} C, a najviša oko 23 ^{o} C, uz napomenu kako je fenomenološki hod razine podzemne vode usklađen s tipskim oscilacijama temperature mora tijekom godine.

3.2.2. Metodologija mjerenja u D1 i grafički prikaz rezultata

U dubokom pijezometru nalazi se mjerna sonda TruBlue 555 level. Ovaj tip sonde kontinuirano mjeri razinu vode u bušotini, te memorira podatke u zadanim vremenskim intervalima. Parametar s ove sonde koji će biti analiziran u ovom radu je potencijal u dubokom pijezometru.

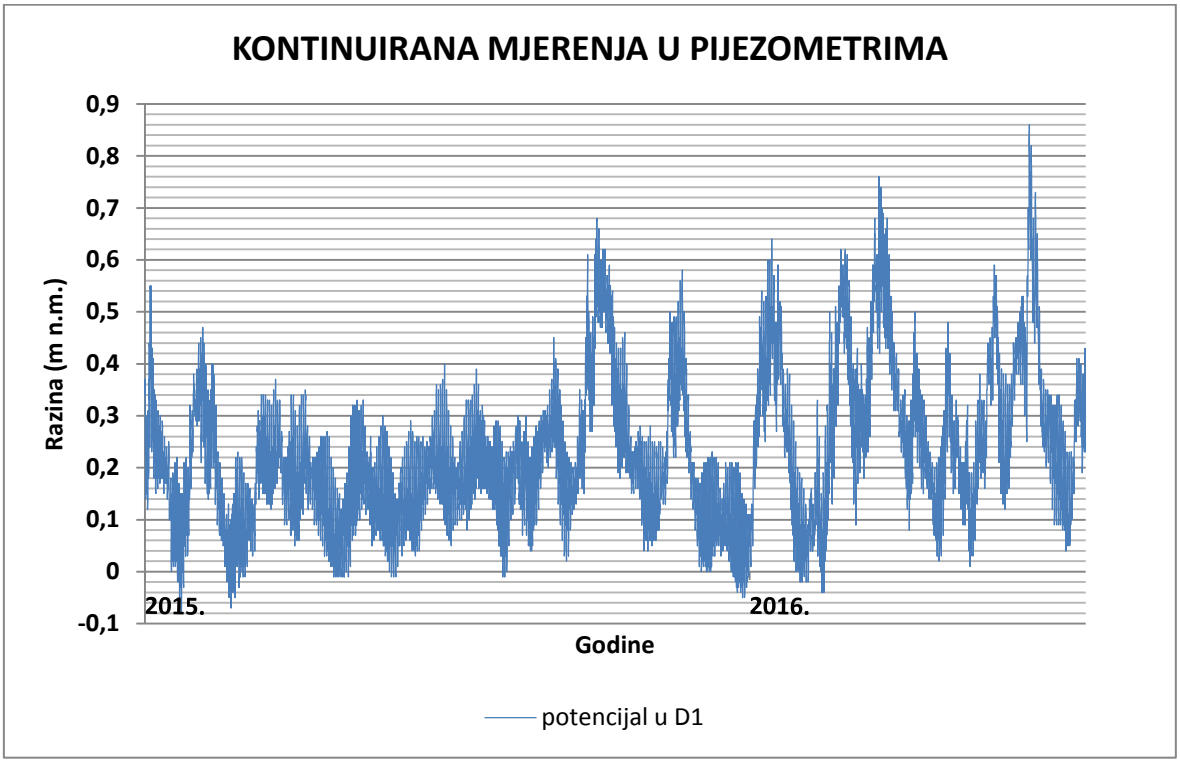
Na promatranoj lokaciji sonda bilježi podatak svako sat vremena, s tim da je taj podatak satni srednjak od dva podatka: sonda bilježi potencijal na pola sata i u punom satu, te osrednji zbroj i memorira ga kao vrijednost potencijala u punom satu.

Kota „0“ sonde je -5.35 m n.m., u odnosu na tu točku sonda mjeri razinu vode.



Slika 3.11. Sonda TruBlue 555 level

Podaci sa lokacije D1 dostupni su za vremenski period 01.01.2015. – 31.12.2016. s tim da za period 11.07.2016. – 01.08.2016. podataka nema, iz gore opisanog, istog razloga. Na Slici 3.12. nalazi se grafički prikaz potencijala u pijezometru D1 u apsolutnim kotama za vremenski period 03.03.2015. – 16.06.2016. jer su za taj period podaci kontinuirani i u pijezometru P1.

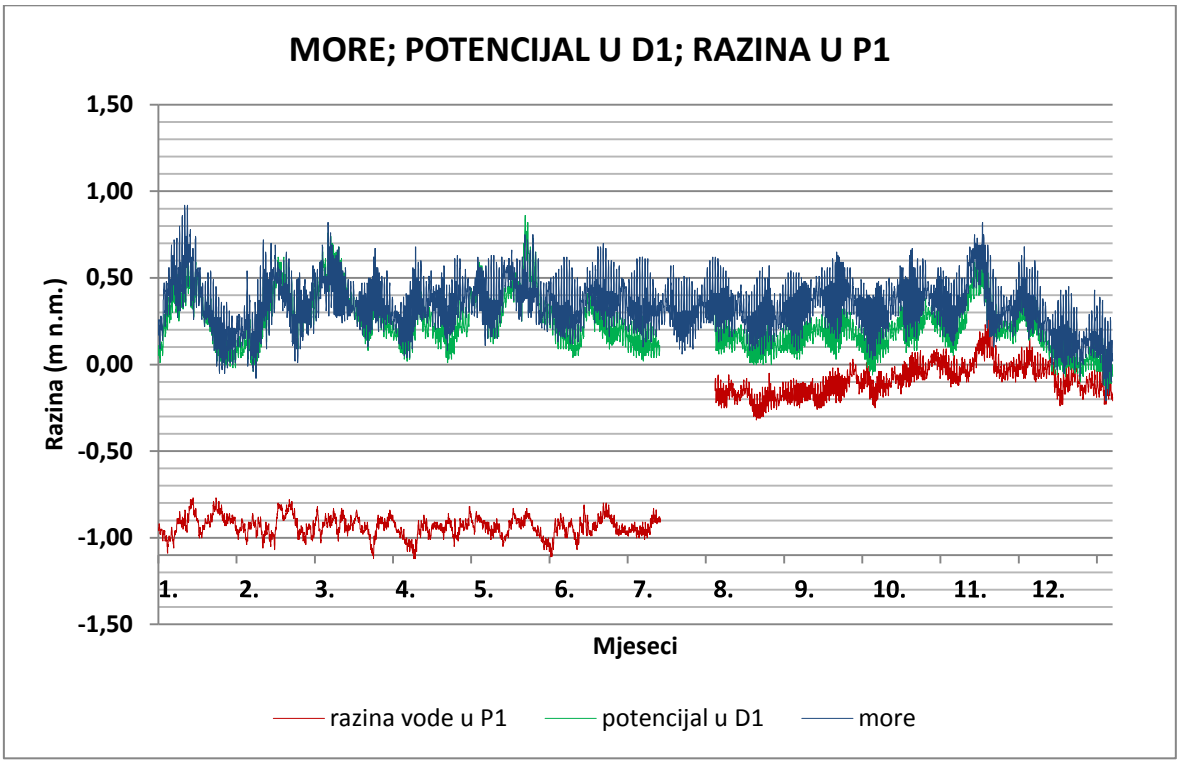


Slika 3.12. Grafički prikaz potencijala u D1 u apsolutnim kotama

Promatrajući Sliku 3.12. vidi se izrazit utjecaj oscilacija razine mora (plima i oseka) na promjene potencijala u pijezometru D1. Isto tako se vidi da potencijal ne pada ispod kote -0,10 m n.m. što znači da je voda u dubokom sloju u arteškim uvjetima (u P1 najviša kota razine vodnog lica je -0,64 m n.m.).

3.2.3. Problem nakon bušenja novih dubokih pijezometara

Prilikom izvođenja radova na novim dubokim bušotinama došlo je do pogreške. Nova duboka bušotina na lokaciji Ušće izvedena je u neposrednoj blizini nove plitke bušotine. Problem je što je cijev novog dubokog pijezometra perforirana po cijeloj visini, a ne samo u dubokom vodonosnom sloju, pa uslijed većeg tlaka u podzemlju, a postojećih perforacija po cijevi, dolazi do prihranjivanja površinskog sloja vodom iz dubokog sloja, što se vidi na Slici 3.13.



Slika 3.13. Grafički prikaz stanja mora, potencijala u D1 i razine u P1 u 2016. godini

Iz Slike 3.13. jasno se vidi da je nakon bušenja novog dubokog pijezometra i montaže cijevi koja je perforirana po čitavoj visini došli do prihranjivanja površinskog sloja vodom iz dubokog sloja. Kako se nova duboka bušotina nalazi u radijusu utjecaja pijezometra P1, taj porast razine uslijed prihranjivanja je značajan. Na oko je vidljivo evidentno da promjena razine vodnog lica u P1 prati promjenu potencijala u D1, odnosno oscilacije razine mora (plimu i oseku). Dakle, nakon bušenja i montaže cijevi (perforirane po cijeloj visini) u novi duboki pijezometar poremećeno je stanje na promatranoj lokaciji, odnosno u plitkom pijezometru P1 u vidu svih parametara. Podaci dobiveni nakon 01.08.2016. nisu realni podaci o vrijenostima parametara u pijezometru P1 te stoga neće biti analizirani u ovom radu.

3.2.4. Mjerenja prilikom uzimanja uzoraka iz pijezometara

Svake godine se u svibnju, lipnju, srpnju, kolovozu, rujnu i listopadu pri obilasku terena uzimaju uzorci iz plitkih i dubokih pijezometara, iz Neretve u Opuzenu i Kominu, te iz Male Neretve sa mosta na magistrali D8. Ti uzorci analiziraju se na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, i nisu predmet ovog rada. Radnja koja prethodi uzorkovanju je mjerenje parametara po visini u plitkim i dubokim pijezometrima. Mjerenja se vrše sondom SEBA Hydrometrie KLL-Q-2, koja je prikazana na Slici 3.14.



Slika 3.14. Sonda SEBA Hydrometrie KLL-Q-2

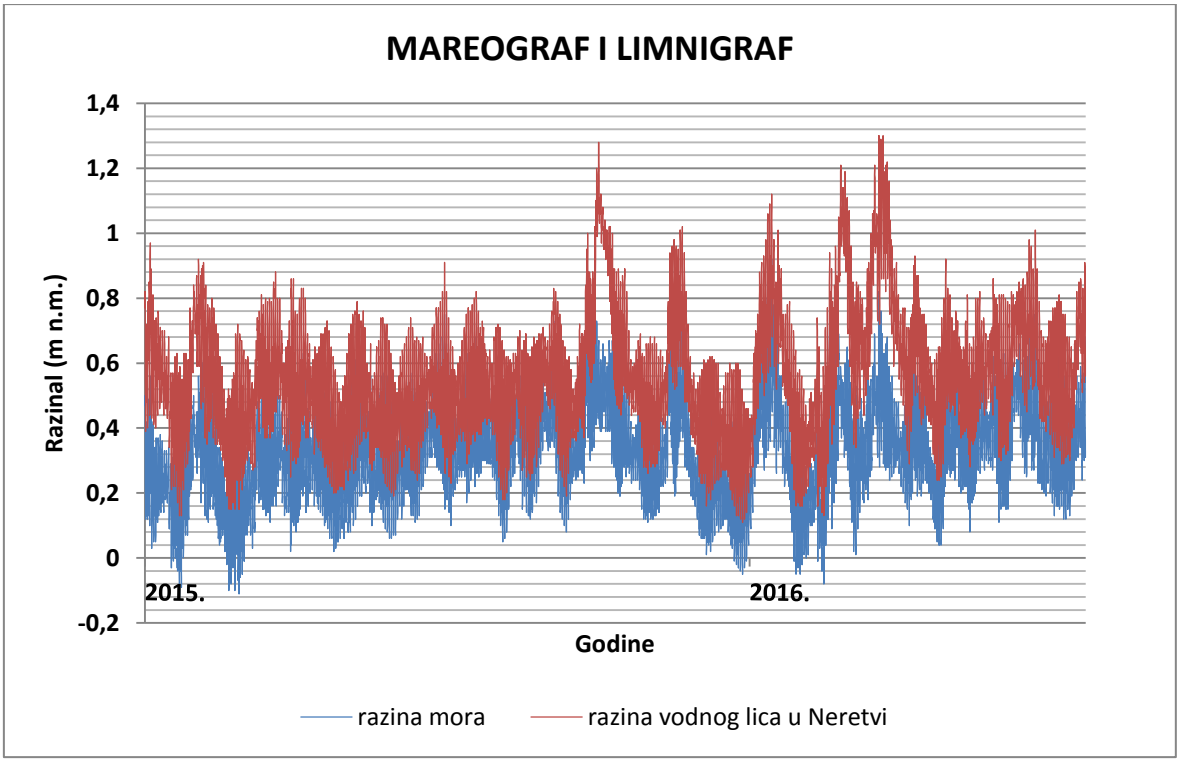
Neki od parametara dobivenih ovim mjerenjima biti će prikazani u točki 6. ovog rada.

3.3. Podaci sa mareografa i limnigrafa

Da bi se kontinuirano pratilo i analiziralo globalno stanje u sustavu, osim dubokih i plitkih pijezometara, u sustav su ugrađeni i uređaji za kontinuirano mjerenje razine mora i vodostaja u Neretvi.

Mareograf je instaliran na ušću Male Neretve kako bi se analiziralo na koji način more djeluje na sustav (kako na plitki, a kako na vodonosnik pod tlakom).

Limnigraf je instaliran na Neretvi kod Opuzena kako bi se analiziralo na koji način Neretva djeluje na sustav (prvenstveno na plitki vodonosnik). Ovi podaci su tim više važni jer opisuju rubna stanja sustava i govore kako more, odnosno Neretva djeluje na sustav tj. pojedini vodonosnik. Na obje hidrološke postaje nalazi se instrument Thalimedes, a instrument bilježi vodostaj na pola sata i u punom satu, te osrednji zbroj i memorira ga kao vrijednost vodostaja u punom satu.



Slika 3.15. Grafički prikaz razine mora i razine vodnog lica rijeke Neretve u 2015. I 2016. godini u apsolutnim kotama

Iz Slike 3.15. vidi se da je razina vodnog lica rijeke Neretve uvijek iznad razine mora. U kišnim periodima vidi se utjecaj na porast razine vodnog lica rijeke Neretve, dok je u sušnom periodu dominantan utjecaj oscilacija razine mora (plime i oseke) na stanje vodnog lica rijeke Neretve.

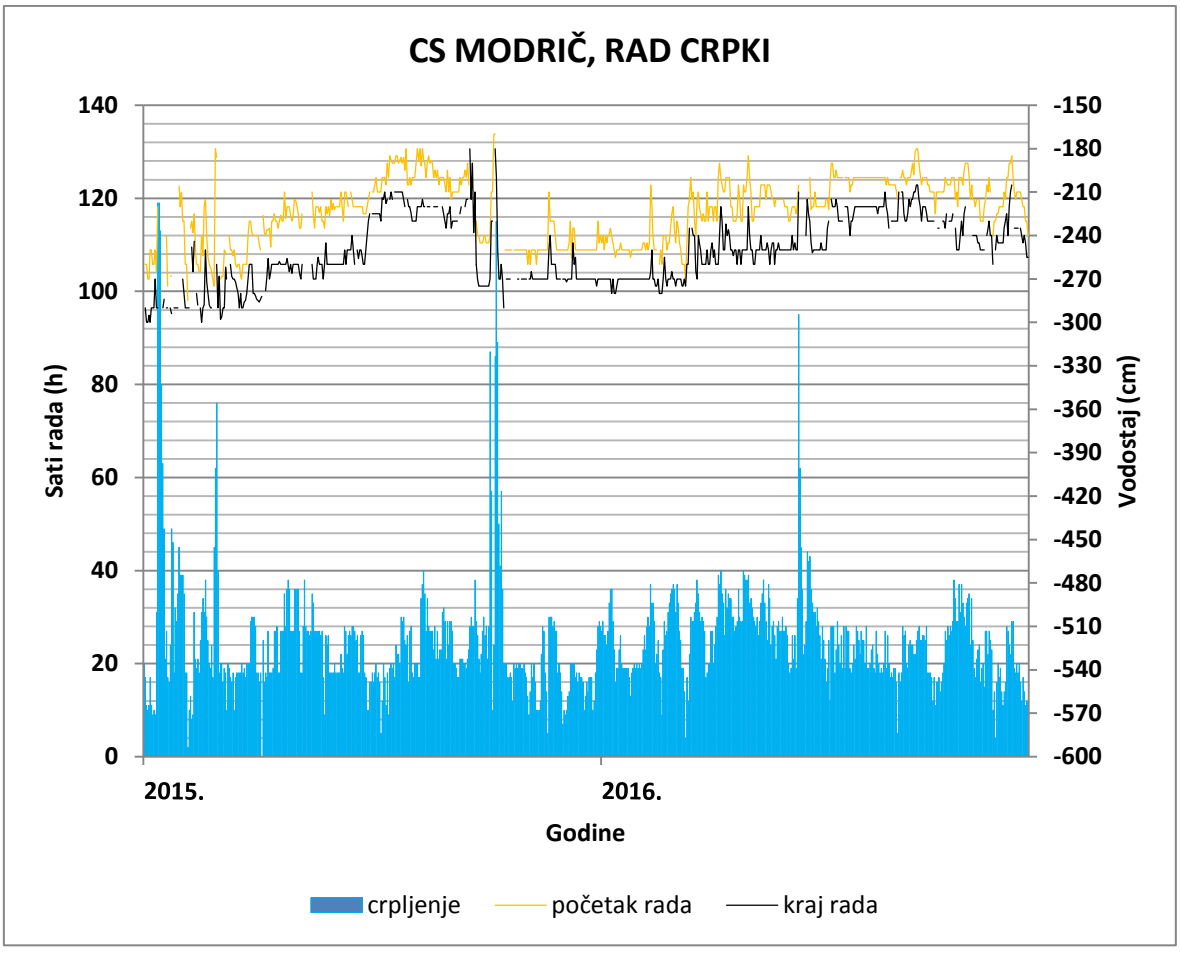
3.4. Crpne stanice

Kako se cijela Donja Neretva nalazi na jako maloj nadmorskoj visini, dolina se odvodnjava pomoću crpnih postrojenja. Odvodnjava se isključivo plitki vodonosni sloj važan s agronomskog aspekta. Na području obuhvata postoje dvije značajne crpne stanice: CS Modrič i CS Prag. Iz knjiga rada CS Modrič i CS Prag izvučen je broj radnih sati crpki po danima te pijezometarsko stanje u kanalu prije i poslije crpljenja. Vrijeme prije

crpljenja je generalno uzeto kao 22 h, dok je stanje poslije crpljenja uzeto kao 8 h slijedećeg dana.

3.4.1. Crpna stanica Modrič

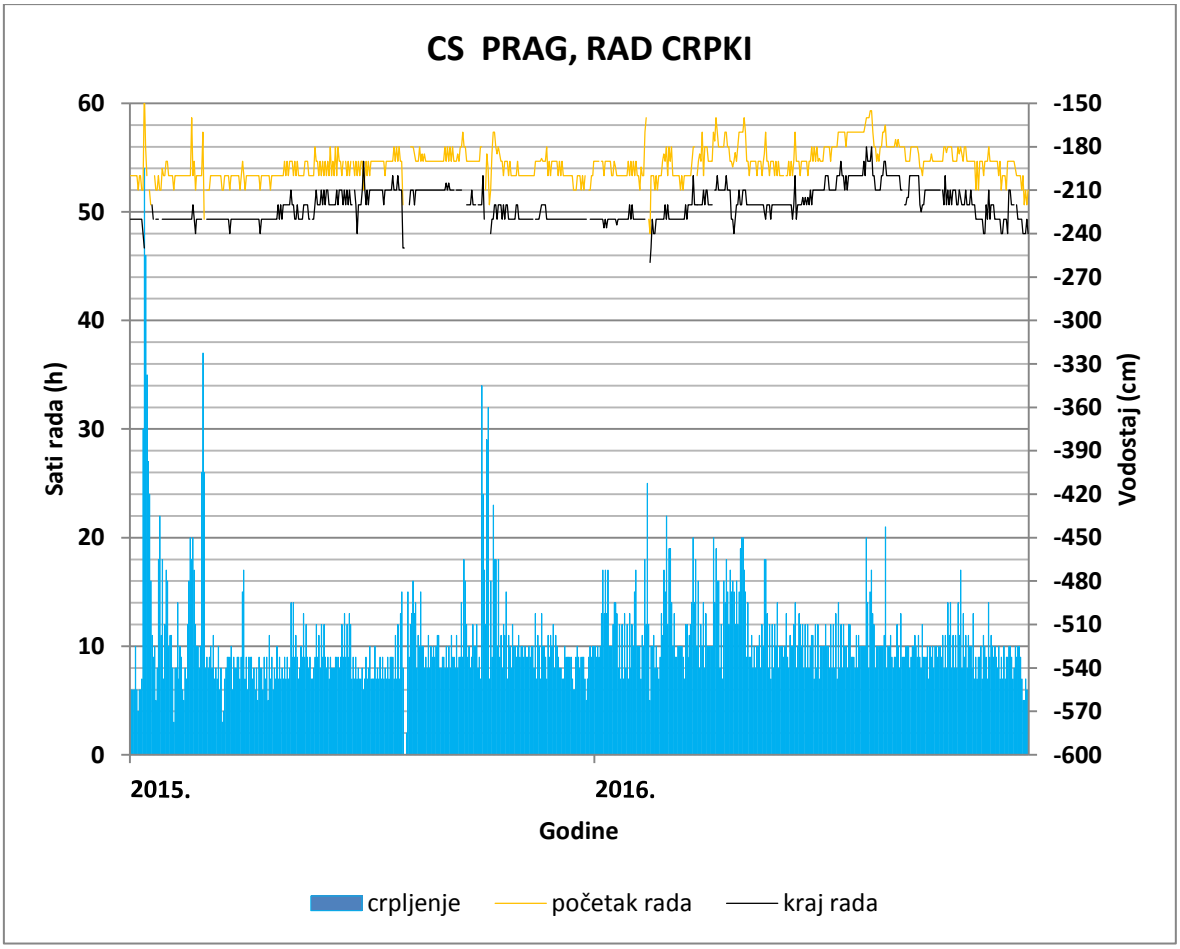
Crpna stanica Modrič odvodnjava oborinske i procjedne vode sa područja Opuzen – Ušće površine oko 2900 ha. Završena je i puštena u rad 1969. godine. Dovod vode do crpne stanice je glavnim kanalom. Crpna stanica je kapaciteta 19,5 do 20,0 m^3 u sekundi, sastoji se od 6 agregata. Upravljanje crpnom stanicom je ručno, iz trafostanice.



Slika 3.16. Grafički prikaz rada crpne stanice Modrič u 2015. i 2016. Godini

3.4.2. Crpna stanica Prag

Crpna stanica Prag odvodnjava područje Vidrica, odnosno površinu od oko 500 ha, u koju spada dio sliva brdskih voda, oborinske i procjedne vode područja, te procjedne vode lijevog zaobalja Male Neretve nizvodno od Opuzena. Izgrađena je 1975. godine. Ukupni kapacitet crpne stanice je 6,45 do 7,50 m^3 u sekundi, sastoji se od 3 agregata. Upravljanje crpnom stanicom je ručno, iz trafostanice.

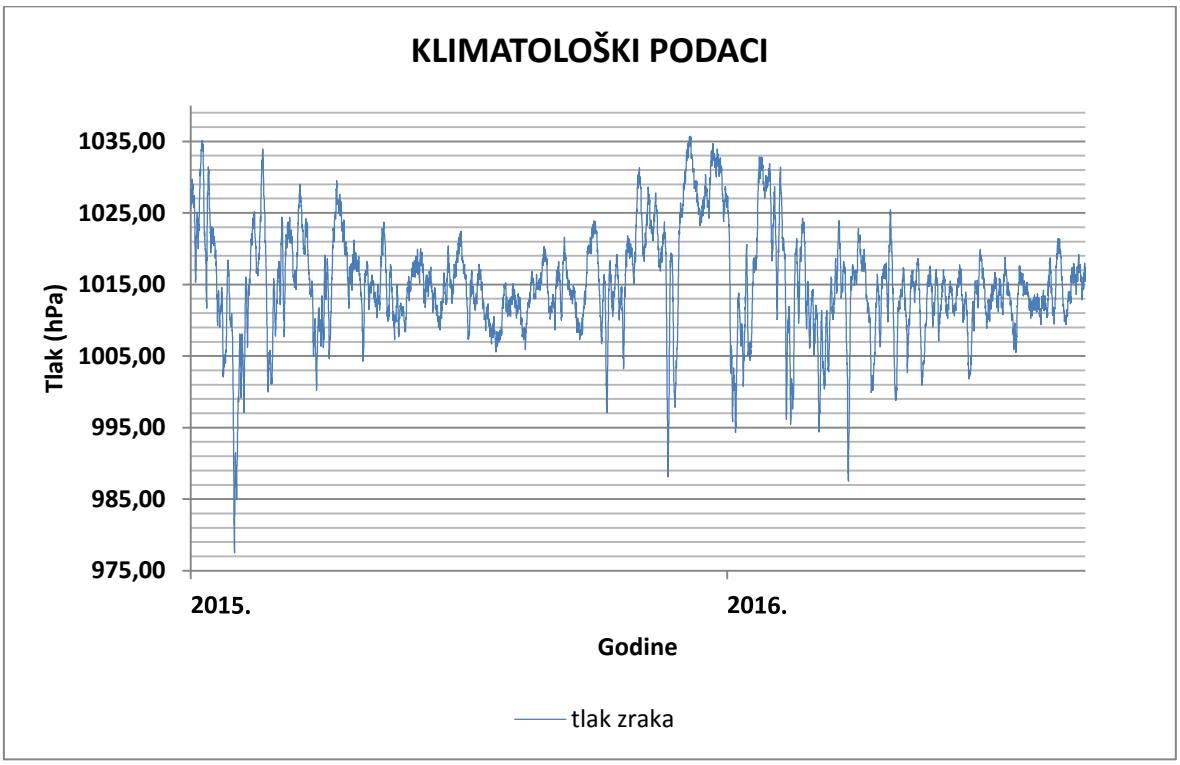


Slika 3.17. Grafički prikaz rada crpne stanice Prag u 2015. i 2016. godini

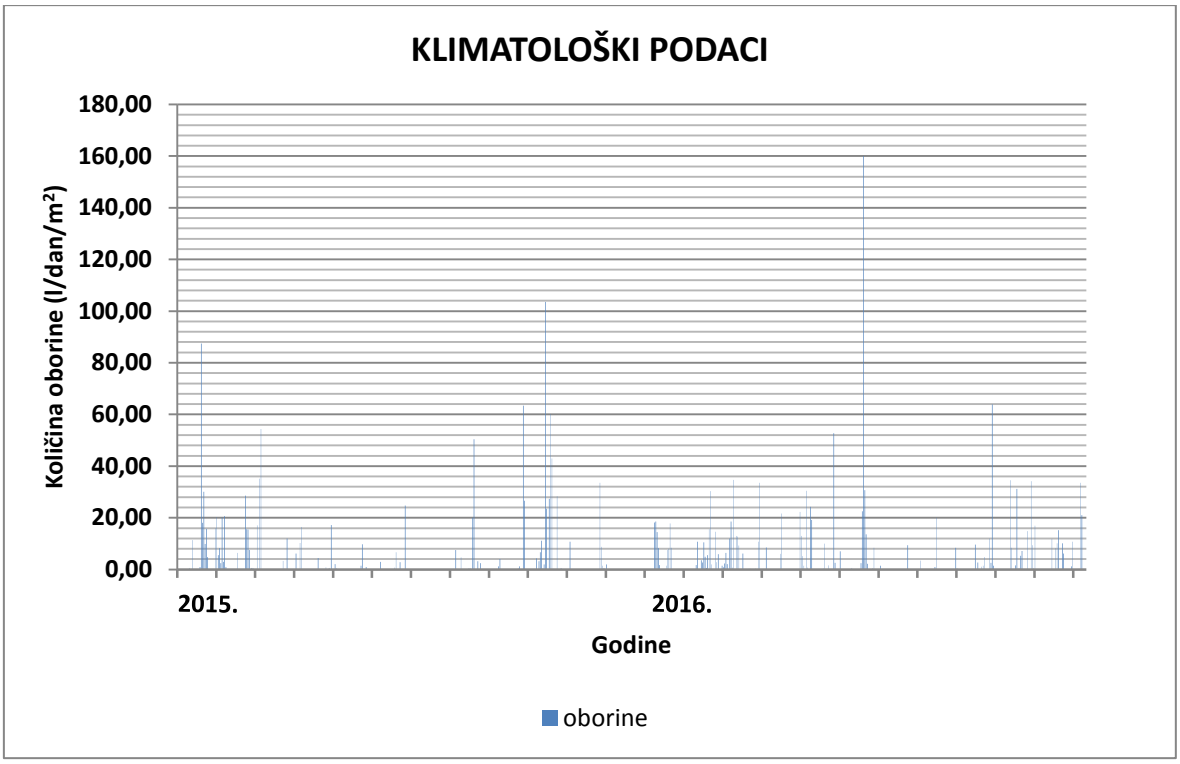
Sa Slika 3.16. i 3.17. vidljivo je da crpne stanice rade svaki dan, odnosno i u danima u kojima nema oborine voda se iz natapnih kanala crpi u Malu Neretvu.

3.5. Klimatološki podaci

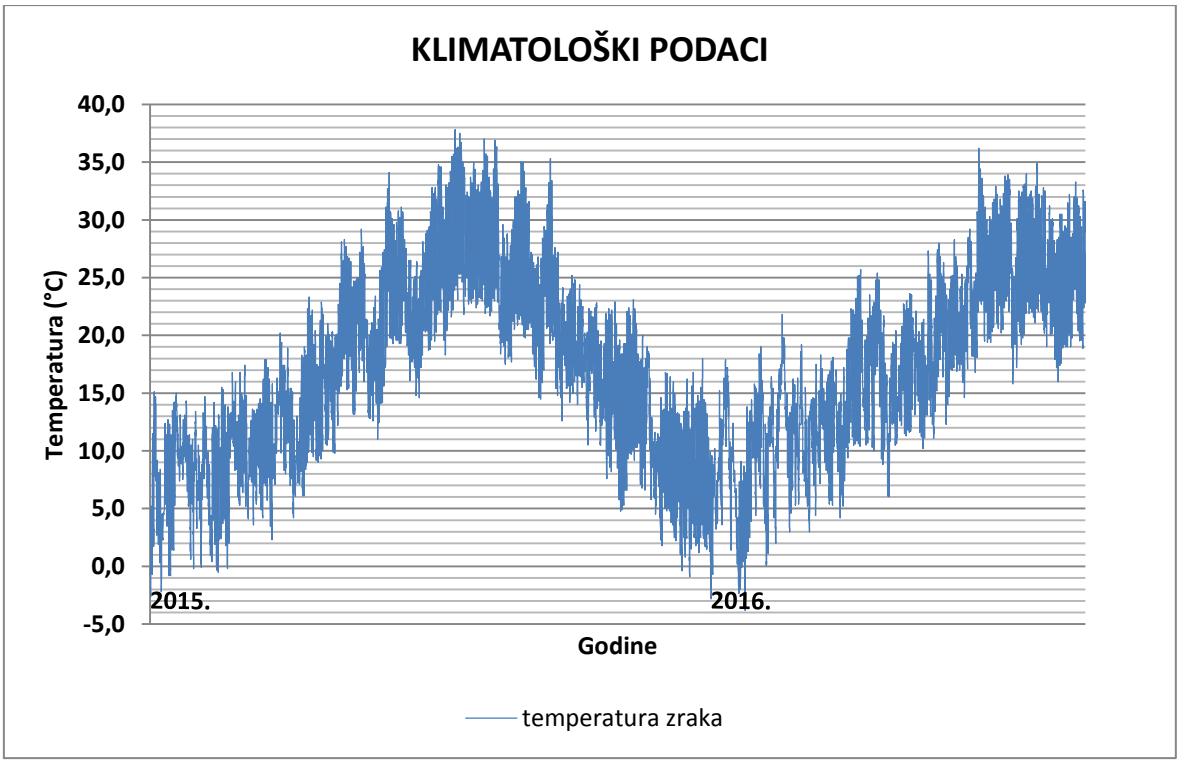
Na raspolaganju su podaci DHMZ-a za meteorološke postaja Ploče, Opuzen i Metković za 2015. i 2016. godinu. Za postaje Opuzen i Metković na raspolaganju su dnevne vrijednosti podataka, a za Ploče, izuzev oborine koja je u dnevnim (kumulativnim) vrijednostima, na raspolaganju su satne vrijednosti podataka. Postaja Opuzen prestala je s radom u prosincu 2015. Meteorološka postaja Ploče je referentna meteorološka postaja na promatranom području, stoga će na grafičkom prikazu oborine, temperature i tlaka zraka biti podaci sa te meteorološke postaje. Izvor podataka o oborini je kišomjer, o temperaturi termograf, a o tlaku barograf.



Slika 3.18. Grafički prikaz tlaka zraka u 2015. i 2016. godini



Slika 3.19. Grafički prikaz oborina u 2015. i 2016. godini



Slika 3.20. Grafički prikaz temperature zraka u 2015. i 2016. godini

4. KORIŠTENE METODE PRI ANALIZI PODATAKA

Da bi se kvalitativno identificirali procesi u sustavu te iz njih izvukli bitni parametri, kako plitkog tako i vodonosnika pod tlakom, bitno je da se svi važni čimbenici koji više ili manje, direktno ili indirektno djeluju na sustav, promatraju zajedno kao neraskidiva cjelina. U ovom poglavlju biti će prikazana korištena metodologija.

4.1. Regresijska analiza i pripadna korelacija

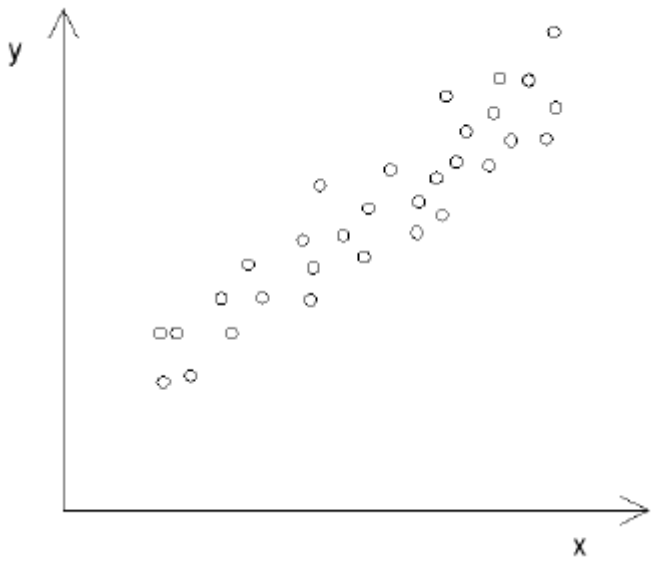
Regresija je statistički odnos između pojava, odnosno slučajnih varijabli, a bavi se određivanjem analitičkog izraza povezanosti pojava [3, 10, 11]. Korelacija je međusobna povezanost pojava, odnosno slučajnih varijabli. Bavi se kvantificiranjem povezanosti među pojavama. Da bi se uspostavile funkcionalne veze između pojedinih parametara sustava, u ovom je dijelu upotrijebljen model jednostavne linearne regresije. Prvi korak u izradi modela jednostavne linearne regresije je izrada dijagrama raspršenja. Dijagram raspršenja je grafički prikaz točaka, odnosno uređenih parova (xi,yi), u koordinatnom sustavu, gdje su:

- xi- vrijednosti jedne slučajne varijable (npr. slučajne varijable X), i=1,2,...,n,

-yi- vrijednosti druge slučajne varijable (npr. slučajne varijable Y), i=1,2,...,n, gdje n predstavlja broj mjerenih podataka.

Prema obliku dijagrama raspršenja, odnosno poziciji uređenih parova može se zaključiti jesu li varijable korelirane i na koji način.

Primjer dijagrama raspršenja s linearnom korelacijom prikazan je na Slici 4.1.



Slika 4.1. Dijagram raspršenja s linearnom korelacijom

Ovaj model procijenjen je pravcem regresije koji ima slijedeću jednadžbu:

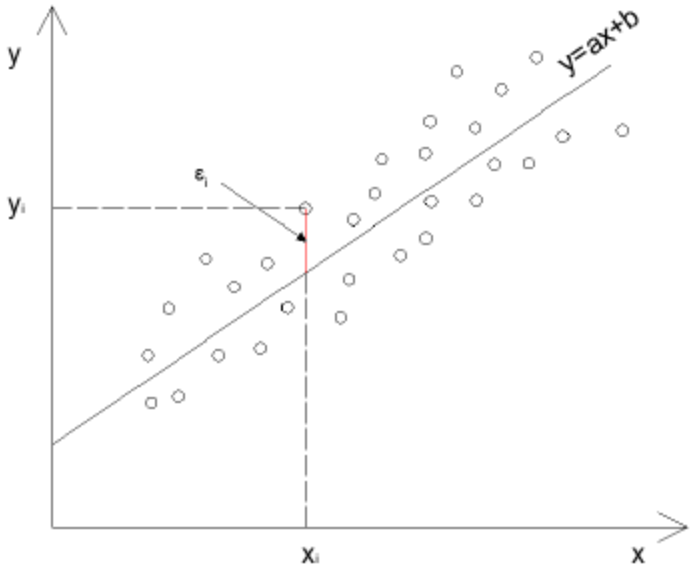
$$y = ax + b \tag{1}$$

gdje su:

a - nagib regresijskog pravca

b - odsječak na ordinati, odnosno očekivana vrijednost varijable Y kada je vrijednost varijable X=0.

Parametri regresijskog pravca a i b, koji će najbolje opisati točke (uređene parove (xi,yi)) izdijagrama raspršenja, određuju se metodom najmanjih kvadrata (MNK). MNK metoda se temelji na određivanju pravca regresije (jednadžba 1) na način da se iz mnoštva pravaca kojima bi mogli opisati međusobnu ovisnost varijabli, odabere onaj kod kojeg je zbroj kvadrata vertikalnih odstupanja točaka u dijagramu raspršenja od tog pravca minimalan.



Slika 4.2. Vertikalna odstupanja uređenih parova od pravca regresije

Uvjet minimuma pogreške opisan je formulom:

$$\sum_{i=1}^{n} |\varepsilon_i|^2 = \text{Min} \tag{2}$$

Na osnovu uvjeta (2) dobiju se parametri modela a i b:

$$a = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} \tag{3}$$

$$b = \overline{y} - a\overline{x} \tag{4}$$

gdje je:

$$\sigma_{xy} = \sum_{i=1}^{n} \overline{xy} - \overline{x}^2 \tag{5}$$

kovarijanca između varijabli X i Y, a:

$$\sigma_x^2 = \overline{x^2} - \overline{x}^2 \tag{6}$$

varijanca varijable X.

Povezanost pojava kvantificirana se koeficijentom linearne korelacije r (tzv. Personov koeficijent korelacije), koji mjeri jakost i smjer linearne povezanosti:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}, \quad (7)$$

gdje su σ_x i σ_y standardne devijacije varijabli x i y, respektivno. Koeficijent korelacije, r, kreće se u intervalu od -1 do 1, a okvirni stupanj jakosti korelacije je slijedeći [11]:

|r|=0 nema korelacije

|r|=0-0.5 slaba korelacija

|r|=0.5-0.8 srednje značajna korelacija

|r|=0.8-1 značajna korelacija

|r|=1 potpuna korelacija (funkcionalna veza)

Ako je predznak korelacije pozitivan, tada povećanje jedne varijable povlači za sobom povećanje druge varijable (proporcionalna veza), dok je u slučaju negativnog predznaka, ta veza obrnuto proporcionalna.

4.2. Spektralna analiza

Gustoća spektra snage često se koristi u analizi vremenskih serija sa izraženom multifrekvencijskom periodičnošću kod vremenskih serija. Najjednostavniji način objašnjenja gustoće spektra snage jest zapravo da pokazuje tj. daje uvid u intenzitet varijacija signala u funkciji frekvencije. Drugim riječima, daje uvid na kojim frekvencijama su najizraženije periodičnosti signala odnosno vremenske serije.

U matematičkom smislu definira se kao Fourier-ova transformacija funkcije autokorelacije vremenske serije:

- Fourier-ova transformacija:

$$\mathcal{F}[x(t)] = X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt \tag{8}$$

- Funkcija autokorelacije:

$$R(\tau) = x(\tau) * x(-\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt \tag{9}$$

Dokaz da je gustoća spektra snage upravo Fourier-ova transformacija funkcije autokorelacije dan je u nastavku:

$$\begin{aligned}
&\mathcal{F}[R(\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau \\
&= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)e^{-j\omega\tau}dtd\tau \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} x(t+\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau}_{\mathcal{F}[x(t+\tau)]=X(\omega)e^{j\omega t}}dt \\
&= X(\omega)\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{j\omega t}dt \\
&= X(\omega)X^*(\omega) = |X(\omega)|^2
\end{aligned} \tag{10}$$

Definicijom gustoće spektra snage dolazi se do definicije spektralnih komponenti analizirane vremenske serije. Za potrebe spektralnih analiza raspoloživih mjerenja na lokaciji Diga korišten je programski jezik Python u kojem je, za potrebu diplomskog rada, razvijen aplikacijski kod za jednostavnu primjenu.

4.2.1. Kod za spektralnu analizu

```
#učitaj vremenske serije

file = open('MARKO_2015_2016_2209.DAT')
polje_ulaz = np.loadtxt(file, dtype = float, usecols= (1,2,3,4,5,6))

p1 = polje_ulaz[:, 0]
ec = polje_ulaz[:, 1]
d1 = polje_ulaz[:, 3]
more = polje_ulaz[:, 4]

t = np.arange(0,2208,2209)
fs = 1.0

#definiraj gustoću spektra snage

f, Pxx_den = signal.periodogram(ec, fs)

#definiraj template grafičkog prikaza

plt.loglog(f, Pxx_den, color='red', linewidth=1,)
plt.xlim([0.001,1])
plt.ylim([0.000001,100])
plt.grid(b=True, which='major', axis='both', color = 'grey', linewidth = 0.8, alpha = 1.0, linestyle= '-')
plt.grid(b=True, which='minor', axis='both', color = 'grey', alpha =1.0, linewidth = 1.0)
plt.minorticks_on()
plt.xlabel('Frekvencija [cph]', fontsize=20, color = 'black')
plt.ylabel('PSD [mS/cm**2/cph]', fontsize=20, color = 'black')
plt.xticks(size = 15)
plt.yticks(size = 15)

plt.show()

#definiraj spektar snage

f, Pxx_spec = signal.periodogram(more, fs, 'flattop', scaling='spectrum')

#definiraj template grafičkog prikaza

plt.figure()
plt.loglog(f, np.sqrt(Pxx_spec))
plt.xlabel('frequency [Hz]')
plt.ylabel('Linear spectrum [V RMS]')

plt.xlim([0.001,1])
plt.ylim([0.00001,1])


plt.show()
```

4.3. Cross - korelacija

Cross korelacija se provodi na vremenskim serijama (nizovima) podataka. Predstavlja mjeru sličnosti dviju serija u funkciji pomicanja jedne relativno u odnosu na drugu. U vjerojatnosti i statistici definicija korelacije uvijek uključuje faktor standardizacije na takav način da korelacije imaju vrijednosti između -1 i +1. U analizi vremenskih serija, koje se primjenjuju u statistikama, cross korelacija između dviju vremenskih serija je normalizirana funkcija cross – kovarijance [12]. Ako su X(t) i Y(t) stohastički procesi tada je:

$$\gamma_{xy}(k) = \frac{1}{n} * \sum_{t=0}^{n} [(x(t) - \mu_x) * (y(t+k) - \mu_y)] \quad (11)$$

vrijednost cross – kovarijance, a:

$$C_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sigma_x * \sigma_y} \quad (12)$$

je vrijednost koeficijenta cross korelacije.

U izrazima (11) i (12) μ_x i μ_y predstavljaju srednje vrijednosti nizova x i y, a σ_x i σ_y predstavljaju standardne devijacije nizova x i y.

4.3.1. Kod za proračun cross - korelacije

U programskom jeziku „Python“ napravljen je kod za proračun i grafički prikaz rezultata cross – korelacije:

```
#učitaj podatke  o mjerenjima:
import numpy as np
file = open('MARKO_05-09_6_16.DAT')
ucit = np.loadtxt(file, dtype = float, usecols= (1,2,3,4,5,6,7))

a = ucit[:, 0]
b = ucit[:, 1]
c = ucit[:, 2]
d = ucit[:, 3]
ea = ucit[:, 4]
f = ucit[:, 5]
g = ucit[:, 6]

#podaci učitani
from numpy import *
import math
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches

#definiraj template za grafički prikaz
plt.grid(b=True, which='major', axis='both', color = 'grey')
plt.grid(b=True, which='minor', axis='both', color = 'grey', alpha = 1.0)
```

```
plt.minorticks_on()
plt.xlabel('Sati [h]', fontsize=20, color = 'black')
plt.ylabel('Razina [m n. m.] u P1, potencijal [m n.m.] u D1 i razina mora [m n.m.]', fontsize=20, color =
'black')
plt.title('Prikaz mjerenja na Digi za razdoblje 16.-20.7.2015.', fontsize = 15, color ='black')

#definiraj legendu za grafički prikaz
plt.plot(t,a, 'C', label = 'Mareograf - razina', linewidth = 1.5)
plt.plot(t,b, 'R', label = 'D1 - potencijal', linewidth = 1.5)
plt.plot(t,ea, color='green', label = 'P1 - razina', linewidth = 1.5)
leg1 = plt.legend(loc=4, fontsize = 15, scatteryoffsets = [0.0], markerscale = 1, shadow = bool )
for legobj in leg1.legendHandles:
   legobj.set_linewidth(3.0)
plt.show()
# definiraj cc
npts = 119
t = np.linspace(0, 118, npts)

# more i D1
y1 = a
y2 = b
lags = np.arange(-npts + 1, npts)
ccov1 = np.correlate(y1 - y1.mean(), y2 - y2.mean(), mode='full')
ccor1 = ccov1 / (npts * y1.std() * y2.std())

# more i p1
y3 = a
y4 = ea
ccov2 = np.correlate(y3 - y3.mean(), y4 - y4.mean(), mode='full')
ccor2 = ccov2 / (npts * y3.std() * y4.std())

#more i ec
y5 = a
y6 = c
ccov3 = np.correlate(y5 - y5.mean(), y6 - y6.mean(), mode='full')
ccor3 = ccov3 / (npts * y5.std() * y6.std())

#more i temperatura
y7 = a
y8 = f
ccov4 = np.correlate(y7 - y7.mean(), y8 - y8.mean(), mode='full')
ccor4 = ccov4 / (npts * y7.std() * y8.std())

#p1 i ec
y9 = ea
y10 = c
ccov5 = np.correlate(y9 - y9.mean(), y10 - y10.mean(), mode='full')
ccor5 = ccov5 / (npts * y9.std() * y10.std())

#definiraj template za grafički prikaz rezultata
plt.grid(b=True, which='major', axis='both', color = 'grey', linewidth = 0.8, alpha = 1.0, linestyle= '-')
plt.grid(b=True, which='minor', axis='both', color = 'grey', alpha =1.0, linewidth = 1.0)
plt.minorticks_on()
plt.ylabel('CXY', fontsize=20, color = 'black')
plt.plot(lags,ccor1, 'R', label = 'More i D1', linewidth = 1.5)
plt.plot(lags,ccor2, 'B', label = 'More i P1', linewidth = 1.5)
plt.plot(lags,ccor3, 'G', label = 'More i EC', linewidth = 1.5)
```

```
ax = plt.gca()
ax.set_xlim([-60,60])
ax.set_ylim([-1,1])
plt.xticks([-60,-50,-40,-30,-20,-10,0,10,20,30,40,50,60])
plt.yticks([-1.0,-0.9,-0.8,-0.7,-0.6,-0.5,-0.4,-0.3,-0.2,-0.1,0.0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1.0])
plt.xticks(size = 15)
plt.yticks(size = 15)

#definiraj legendu za grafički prikaz
drk1 = plt.legend(loc=4, fontsize = 20, scatteryoffsets = [0.0], markerscale = 1, shadow = bool )
for legobj in drk1.legendHandles:
   legobj.set_linewidth(3.0)
plt.show()

#ispiši minimalne i maksimalne vrijednosti krosskorelacije na ekran
maxlag = lags[np.argmax(ccor1)]
print("max correlation is at lag %d" % maxlag)
minlag = lags[np.argmin(ccor1)]
print("min correlation is at lag %d" % minlag)
maxlag = lags[np.argmax(ccor2)]
print("max correlation is at lag %d" % maxlag)
minlag = lags[np.argmin(ccor2)]
print("min correlation is at lag %d" % minlag)
maxlag = lags[np.argmax(ccor3)]
print("max correlation is at lag %d" % maxlag)
minlag = lags[np.argmin(ccor3)]
print("min correlation is at lag %d" % minlag)
maxlag = lags[np.argmax(ccor4)]
print("max correlation is at lag %d" % maxlag)
maxlag = lags[np.argmax(ccor5)]
print("max correlation is at lag %d" % maxlag)
```

5. IDENTIFIKACIJA PROCESA I USPOSTAVA FUNKCIONALNIH VEZA U SUSTAVU

U ovom dijelu rada biti će prikazani rezultati provedenih analiza, te će se pokušati što točnije identificirati procesi u sustavu.

5.1. Rezultati regresijske analize i interpretacija istih

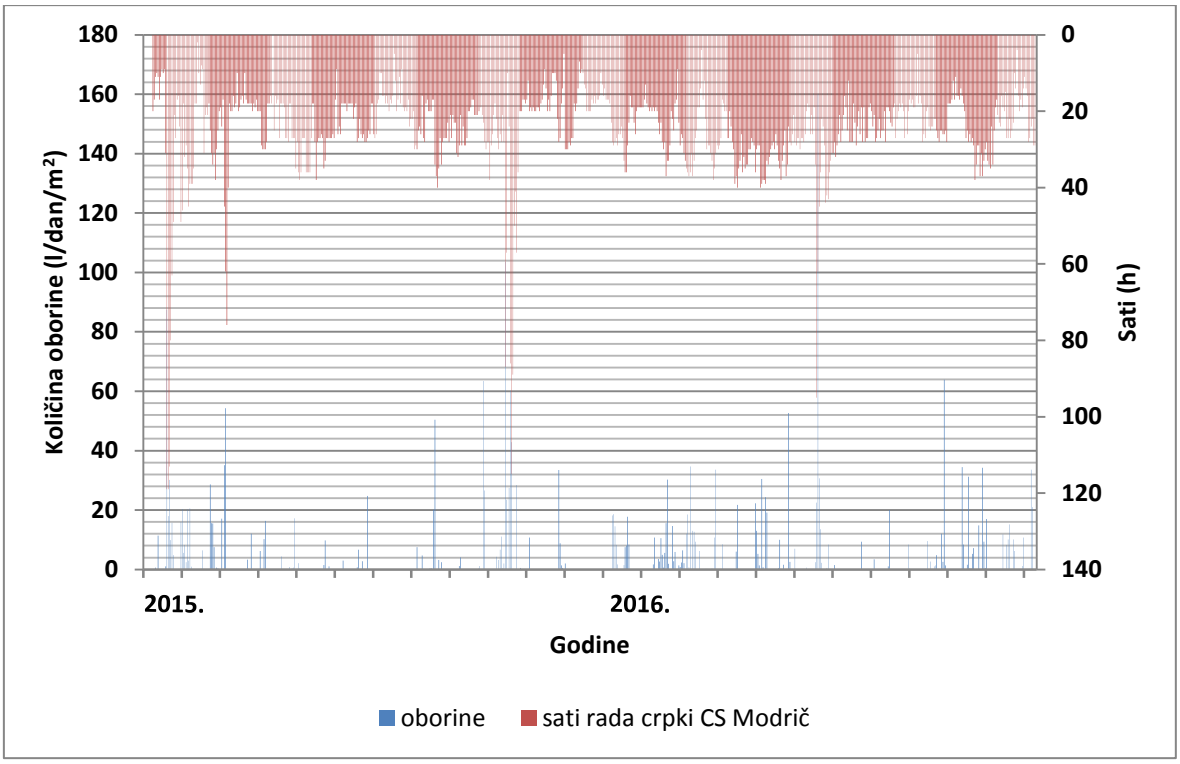
Regresijska analiza provedena je kako bi se kvantificirao utjecaj oborine na rad CS Modrič, te kako bi se kvantificirao utjecaj mora na stanja u pijezometrima D1 i P1.

Kako je vidljivo sa dijagrama koji prikazuje rad crpne stanice Modrič (Slika 3.16.), crpno postrojenje radi svaki dan, dakle neovisno o oborinama određena količina vode se crpi iz kanala u Malu Neretvu, odnosno crpke svaki dan rade određeni broj sati.

Iz tog razloga je napravljeno sljedeće:

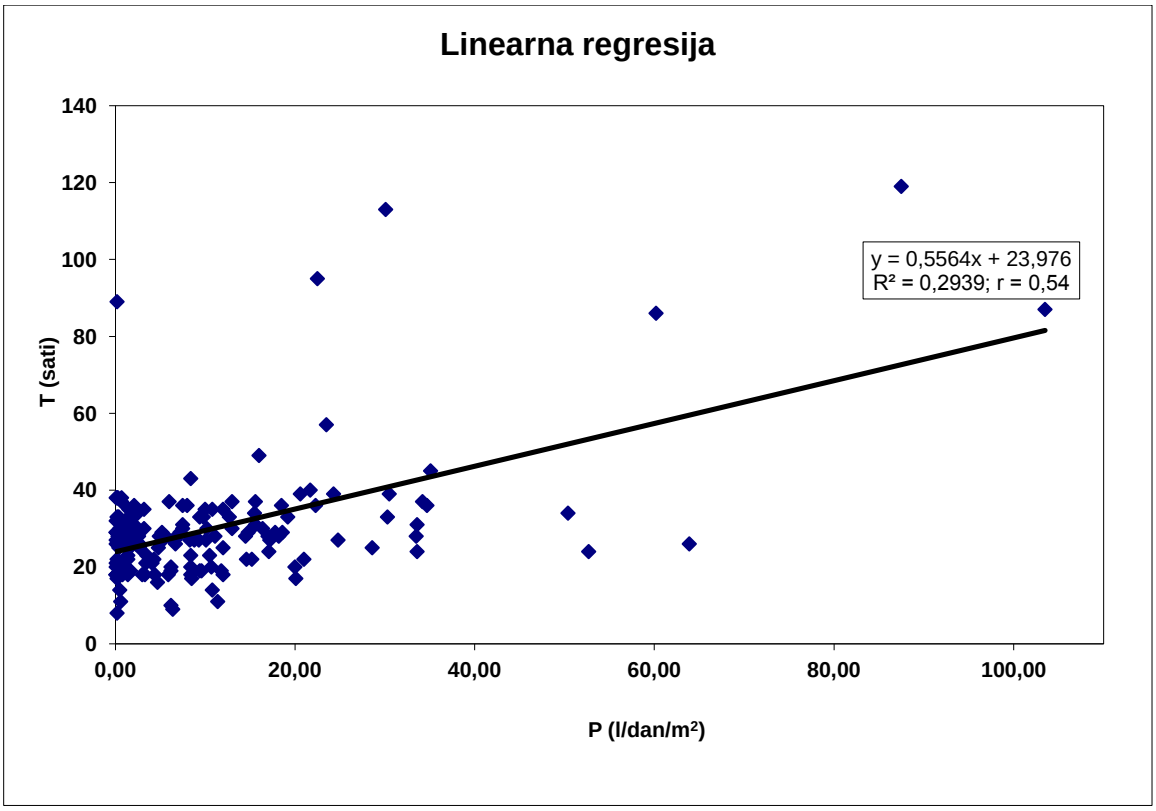
- u regresijskoj analizi u obzir su uzeti samo dani u kojima je zabilježena oborina
- dani u kojima ima oborina, ali fale ili podaci o broju sati rada crpki, ili podaci o pijezometarskim stanjima u usisnom kanalu na početku, odnosno na kraju crpljenja, nisu uzeti u razmatranje. Na Slici 5.1. prikazani su sati rada crpne stanice Modrič i količina pale oborine kroz 2015. i 2016. godinu.

U regresijskoj analizi utjecaja mora na stanja u pijezometrima D1 i P1 razmatran je vremenski period podataka 03.03.2015. – 16.06.2016. godine.



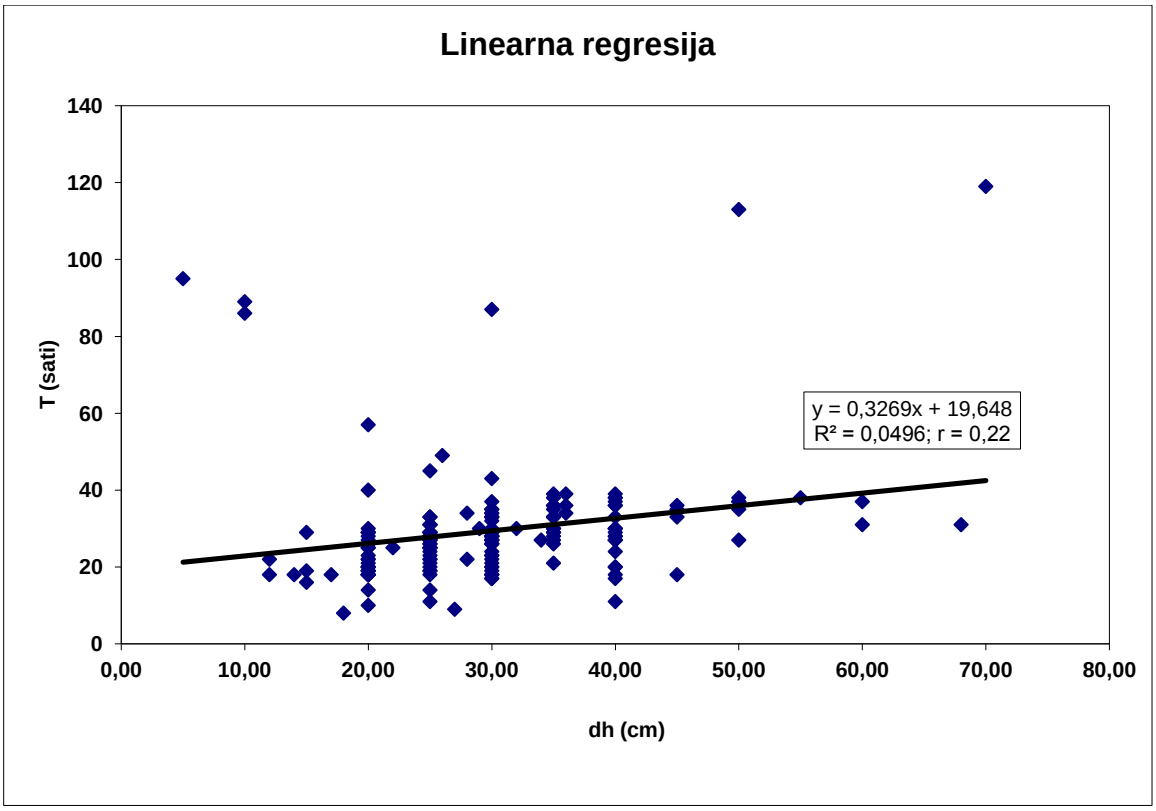
Slika 5.1. Grafički prikaz oborine i sati rada crpki CS Modrič

Na Slici 5.1. još jednom se jasno vidi da crpno postrojenje radi svaki dan, neovisno o oborinama. No, ova slika je prikazana kako bi se uočilo sljedeće: pri oborinama većeg intenziteta jasno se vidi da se povećava broj radnih sati crpnog postrojenja.



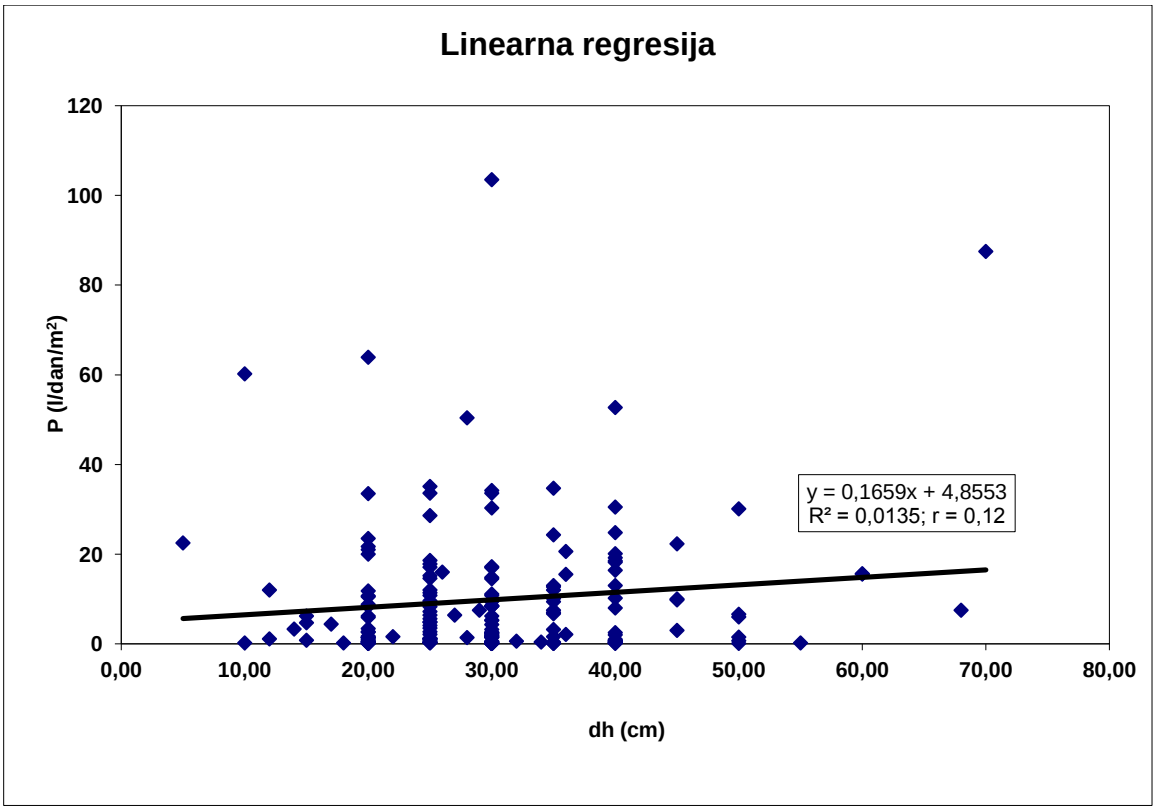
Slika 5.2. Grafički prikaz linearne regresije između sati rada crpki i pale oborine

Koeficijent korelacije između sati rada crpki i pale oborine je srednje značajan, r = 0,54. Iz Slike 5.2. vidljivo je da u određenim situacijama i za oborinu manjeg intenziteta koja padne u Pločama crpno postrojenje može raditi jednak broj sati kao i kod ekstremno velike oborine. Moguće je da je u tim situacijama protok u Neretvi velik, da je vodostaj visok i da se Neretva prelijeva u kanale što automatski znači veće crpljenje, a kako intenzitet oborine nije ni blizu ekstrema, ta situacija smanjuje koeficijent korelacije između ove dvije varijable.



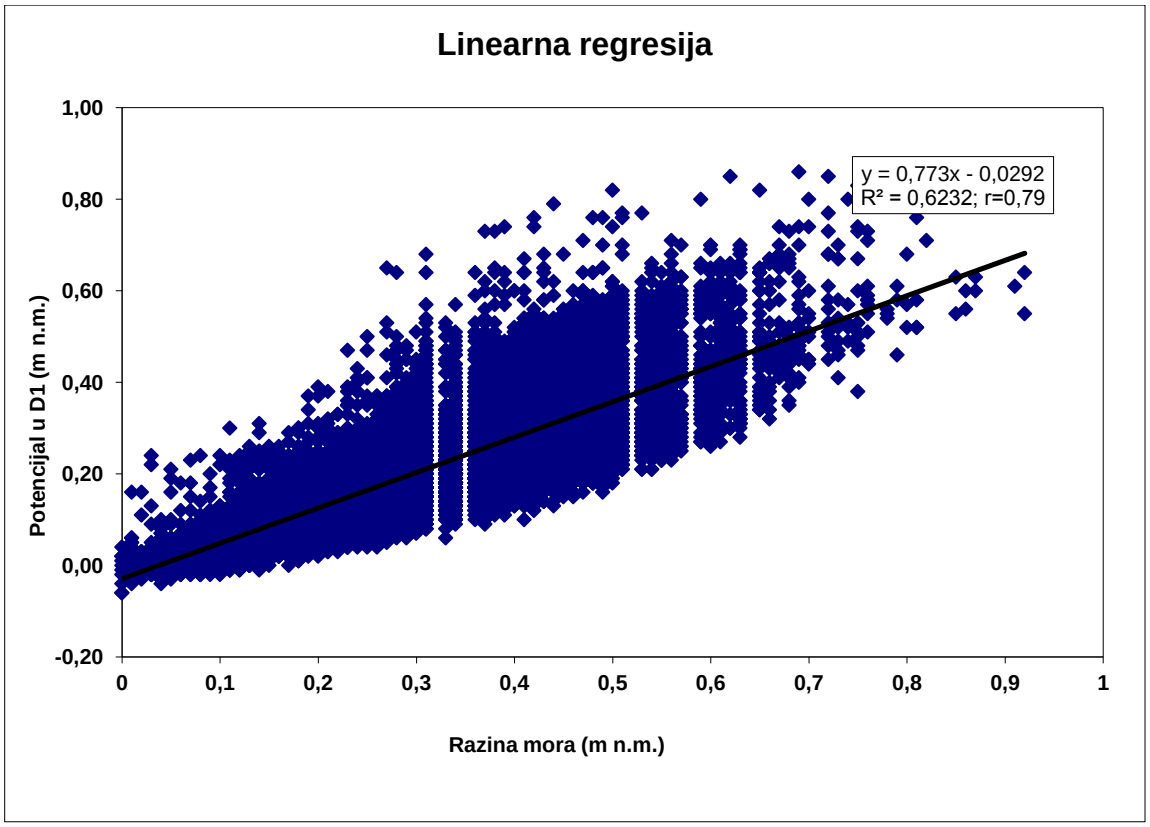
Slika 5.3. Grafički prikaz linearne regresije između sati rada crpki i sniženja u usisnom bazenu na početku i na kraju rada

Koeficijent korelacije između sati rada crpki i sniženja u usisnom bazenu je slab, r = 0,22. Situacije koje izazivaju smanjenje koeficijenta korelacije između ovih dviju varijabli su one kada je broj sati rada crpki velik, ali je smanjenje u usisnom bazenu malo. Te situacije su moguće u prethodno opisanom scenariju za Sliku 5.2., kada je rijeka Neretva visoka i ima velik protok.



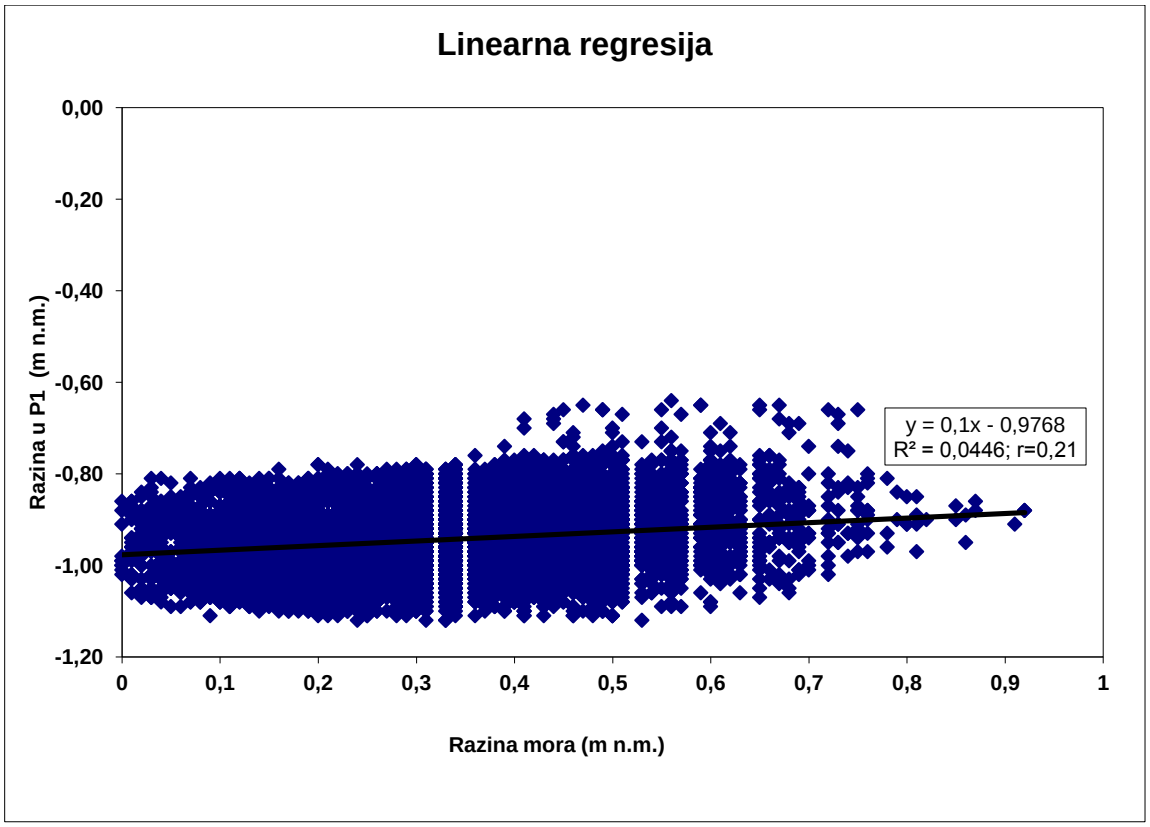
Slika 5.4. Grafički prikaz linearne regresije između oborine i sniženja u usisnom bazenu na početku i na kraju rada

Koeficijent korelacije između oborine i sniženja u usisnom bazenu je slab, r = 0,12. Od tri promatrana slučaja, ovdje je koeficijent korelacije najmanji. To je i očekivano, jer je prethodno utvrđeno da stanje u usisnom bazenu nije direktna posljedica palih oborina. Za ovu analizu jesu uzeti u obzir samo dani kada je kiša padala, ali uvijek postoji onaj dio vode kojega bi crpno postrojenje crpilo neovisno o oborinama.



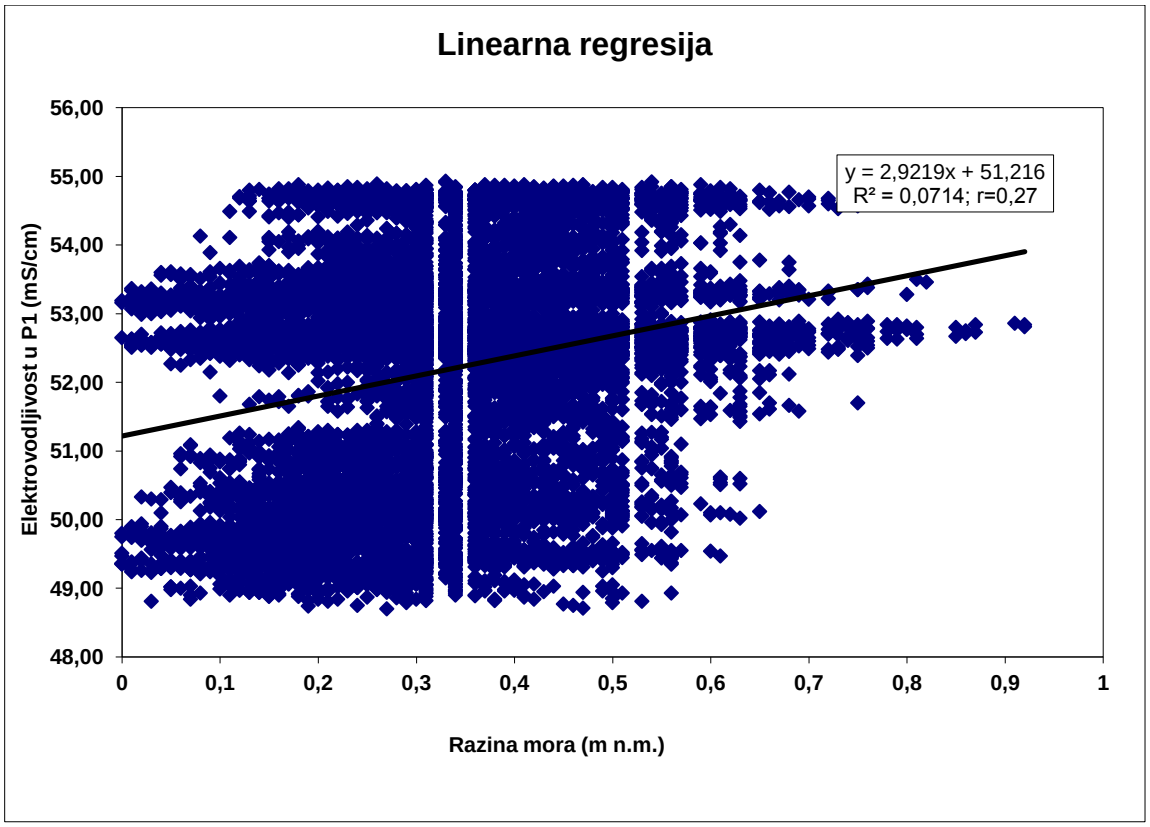
Slika 5.5. Grafički prikaz linearne regresije između razine mora i potencijala u pijezometru D1

Koeficijent korelacije između razine mora i potencijala u pijezometru D1 je srednje značajan, r=0,79. Vrijednost koeficijenta korelacije umanjuju kombinacija visoke razine mora, a nižeg potencijala u pijezometru D1, kao i nža razina mora u kombinaciji sa višim potencijalom u pijezometru D1, što se uočava na Slici 5.5.



Slika 5.6. Grafički prikaz linearne regresije između razine mora i razine u pijezometru P1

Koeficijent korelacije između razine mora i potencijala u pijezometru P1 je slab, r=0,21. Ovaj rezultat ukazuje na to da dinamika mora nije jedini značajni parametar koji utječe na dinamička stanja u pijezometru P1.



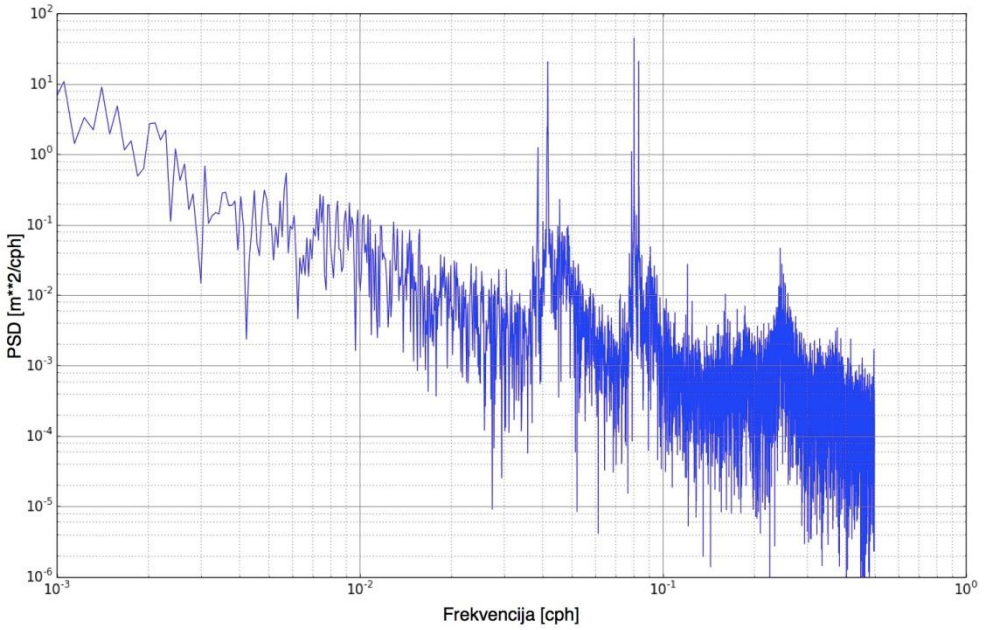
Slika 5.7. Grafički prikaz linearne regresije između razine mora i elektrovodljivosti u pijezometru P1

Koeficijent korelacije između razine mora i elektrovodljivosti u pijezometru P1 je slab, r=0,26. Ovaj rezultat ukazuje na to da dinamika mora nije jedini značajni parametar koji utječe na promjenu elektrovodljivosti u pijezometru P1.

5.2. Rezultati spektralne analize i interpretacija istih

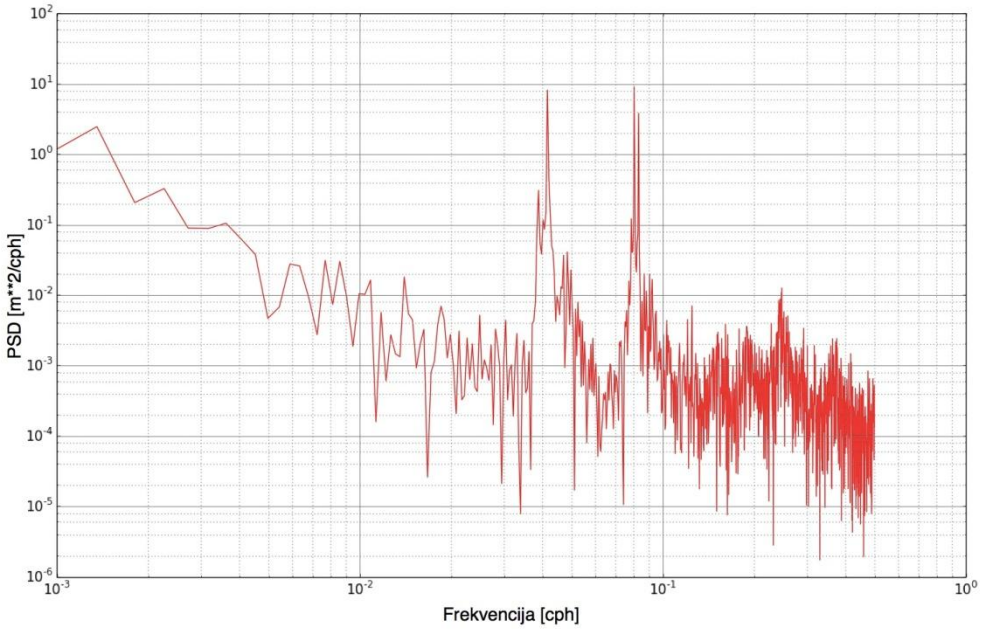
Spektralna analiza provedena je za mjerene signale: mora, potencijala u pijezometru D1, razine podzemne vode u pijezometru P1 te elektrovodljivosti u pijezometru P1.

Analiza je provedena za cjelokupne podatke, ali i za ljetni period u 2015. godini kako bi se eliminirao oborine i minimizirao utjecaj rada CS Modrič koja u ljetnim mjesecima radi smanjenim intenzitetom.



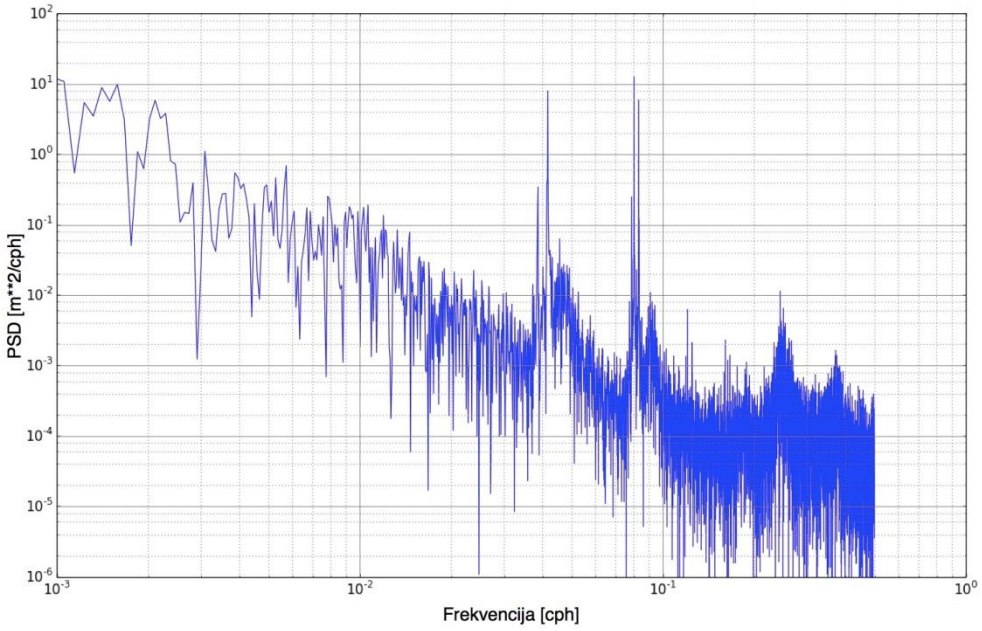
Slika 5.8. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala mora za 2015. i 2016. godinu

Na Slici 5.8. vidi se da vršne vrijednosti gustoće spektra snage odgovaraju frekvencijama 0,0416 cph i 0,083 cph, što su upravo frekvencije koje pripadaju oscilacijama razine Jadranskoga mora. Izražen šum u grafičkom prikazu rezultata.



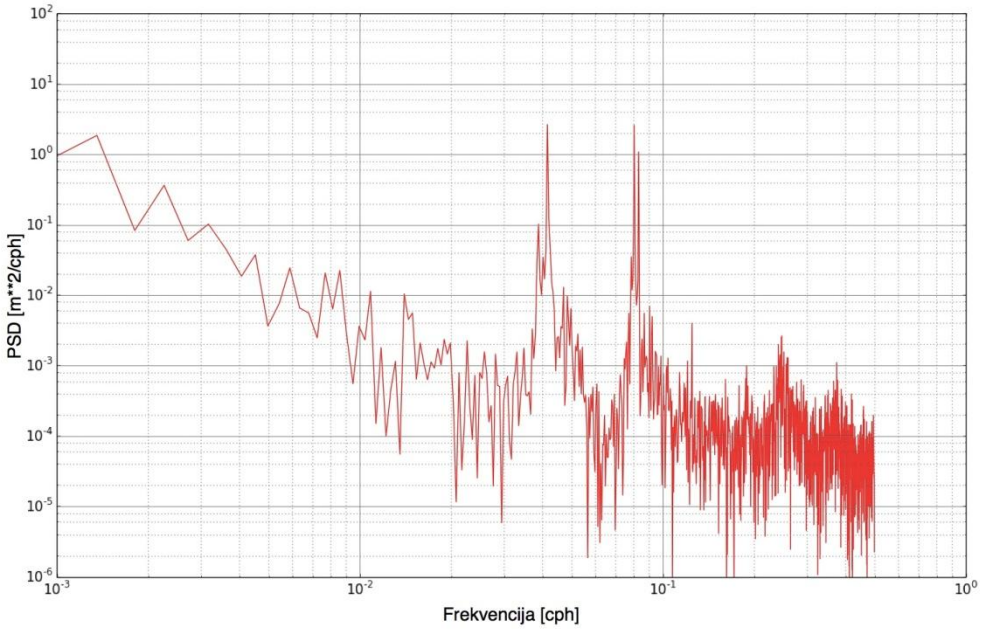
Slika 5.9. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala mora za ljeto 2015. godine

Na Slici 5.9. vidi se da vršne vrijednosti gustoće spektra snage odgovaraju frekvencijama 0,0416 cph i 0,083 cph, što su upravo frekvencije koje pripadaju oscilacijama razine Jadranskoga mora. Te vršne vrijednosti malo su manje u odnosu na Sliku 5.8. Isto tako na grafičkom prikazu rezultata za ljeto 2015. šum u grafičkom prikazu rezultata je manje izražen nego na Slici 5.8. Razlog tome je što se radi o ljetu, tada je protok rijekom Neretvom minimalan, pa je minimaliziran utjecaj dotoka Neretvom na rezultate.



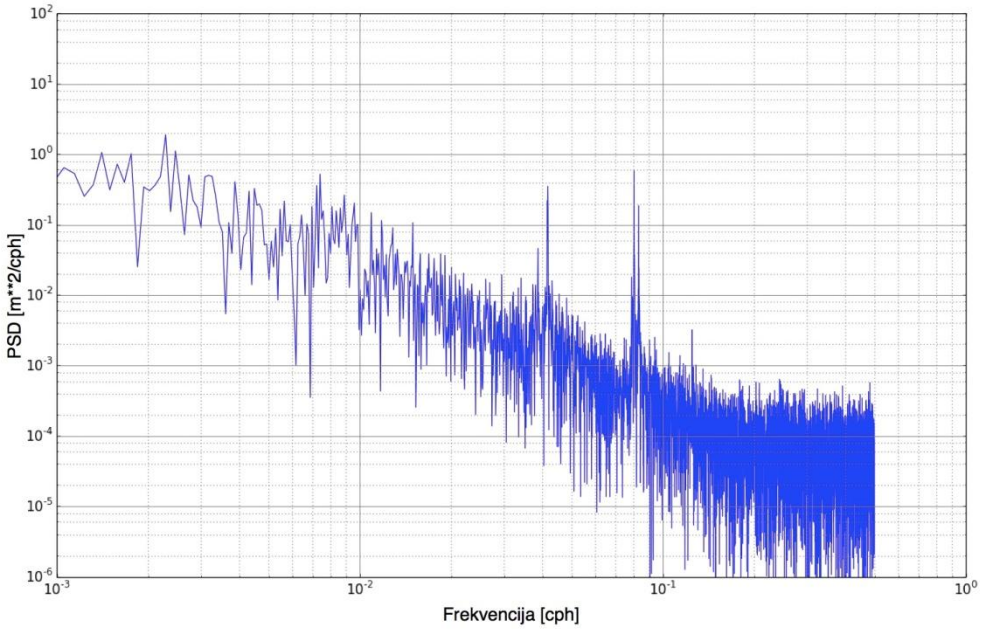
Slika 5.10. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala potencijala u pijezometru D1 za 2015. i 2016. godinu

Na Slici 5.10. vidi se da vršne vrijednosti gustoće spektra snage signala potencijala u pijezometru D1 odgovaraju frekvencijama 0,0416 cph i 0,083 cph, što su upravo frekvencije koje pripadaju oscilacijama razine Jadranskoga mora. To znači da su oscilacije potencijala u pijezometru D1 posljedica oscilacija razine mora. Opet izražen šum na grafičkom prikazu rezultata, što je posljedica oborina uslijed kojih dolazi do porasta potencijala u pijezometru D1. Vršne vrijednosti su manje nego na slici 5.8.



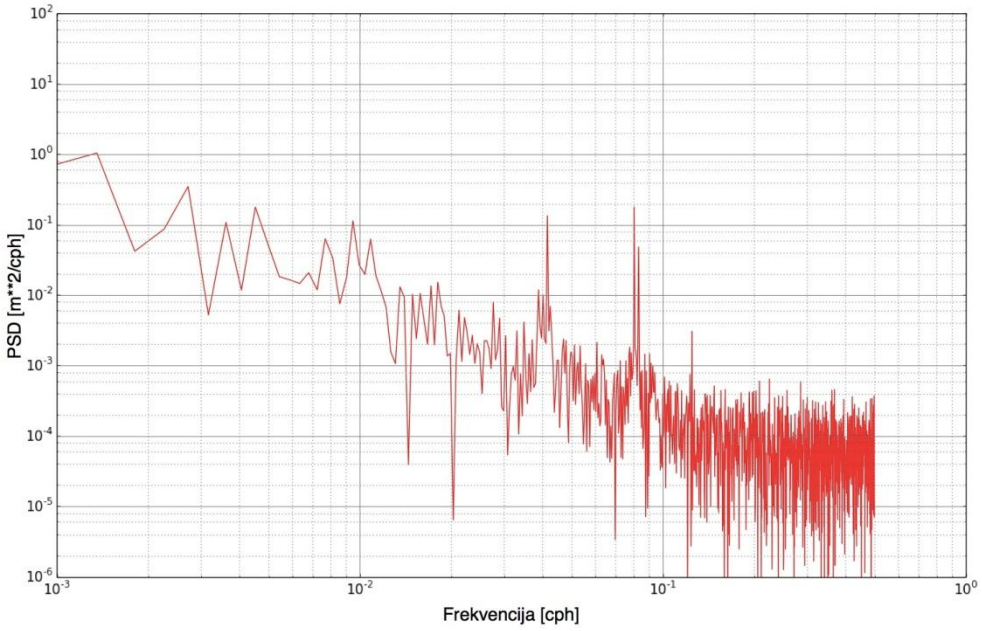
Slika 5.11. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala potencijala u pijezometru D1 za ljeto 2015. godine

Na Slici 5.11. vidi se da vršne vrijednosti gustoće spektra snage signala potencijala u pijezometru D1 odgovaraju frekvencijama 0,0416 cph i 0,083 cph, što su upravo frekvencije koje pripadaju oscilacijama razine Jadranskoga mora. To znači da su oscilacije potencijala u pijezometru D1 posljedica oscilacija razine mora. Te vršne vrijednosti malo su manje nego na Slici 5.10. Kako se radi o ljetnom periodu minimaliziran je utjecaj oborina pa je i šum na grafičkom prikazu rezultata manje izražen.



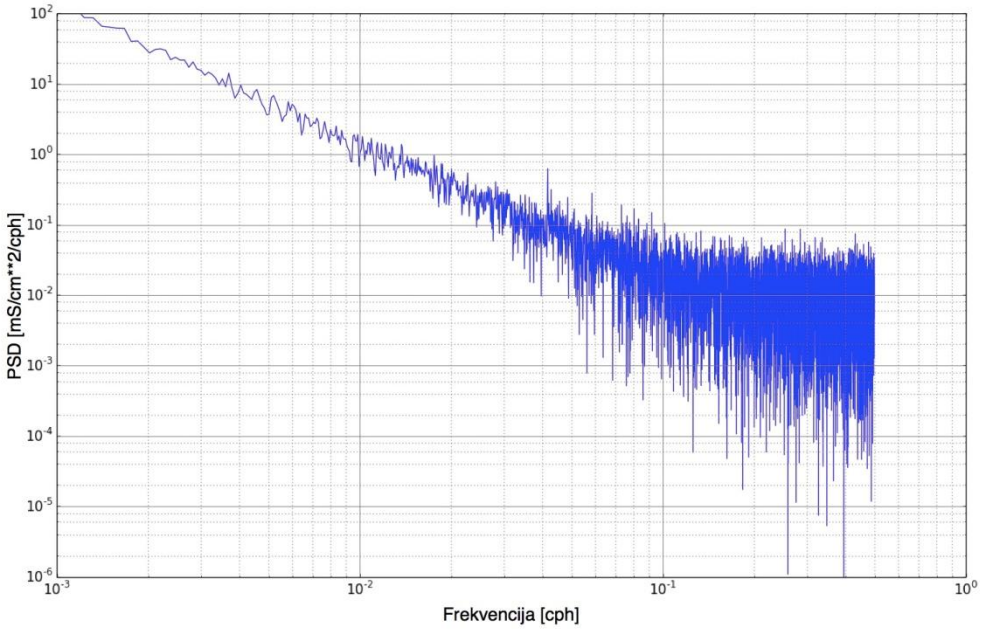
Slika 5.12. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala razine u pijezometru P1 za 2015. i 2016. godinu

Na Slici 5.12. vidi se da vršne vrijednosti gustoće spektra snage signala razine u pijezometru P1 odgovaraju frekvencijama 0,0416 cph i 0,083 cph, što su upravo frekvencije koje pripadaju oscilacijama razine Jadranskoga mora. To znači da su oscilacije potencijala u pijezometru P1 jednim dijelom posljedica oscilacija razine mora. Opet izražen šum na grafičkom prikazu rezultata, što je posljedica oborina uslijed kojih se intenzivira rad crpne stanice Modrič, pa su promjene razine u pijezometru P1 pod utjecajem više faktora. Vršne vrijednosti su osjetno manje nego na Slici 5.8.



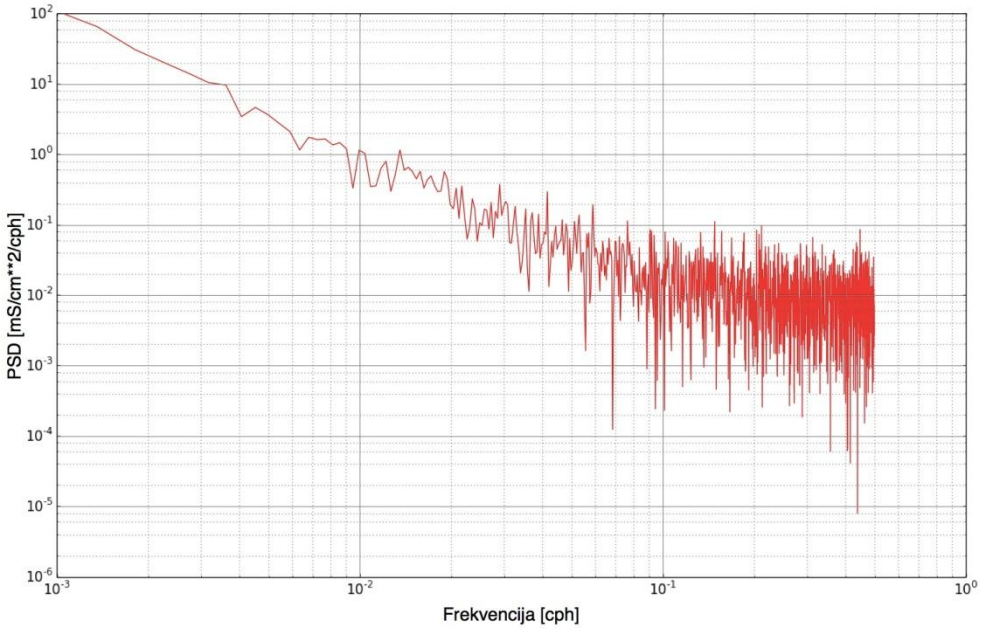
Slika 5.13. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala razine u pijezometru P1 za ljeto 2015. godine

Na Slici 5.12. vidi se da vršne vrijednosti gustoće spektra snage signala razine u pijezometru P1 odgovaraju frekvencijama 0,0416 cph i 0,083 cph, što su upravo frekvencije koje pripadaju oscilacijama razine Jadranskoga mora. To znači da su oscilacije potencijala u pijezometru P1 jednim dijelom posljedica oscilacija razine mora. Te vršne vrijednosti malo su manje nego na Slici 5.12. Kako se radi o ljetnom periodu minimaliziran je utjecaj oborina, odnosno rad crpne stanice Modrič, pa je i šum na grafičkom prikazu rezultata umanjen.



Slika 5.14. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala elektrovodljivosti u pijezometru P1 za 2015. i 2016. godinu

Na Slici 5.14. vidi se da gustoća spektra snage signala elektrovodljivosti u pijezometru P1 ima jednu vršnu vrijednost koja odgovara frekvenciji 0,0416 cph, dok vršna vrijednost koja odgovara frekvenciji 0,083 cph nije vidljiva. To znači da promjene elektrovodljivosti ne ovise direktno o oscilacijama razine mora. Izražen je šum na grafičkom prikazu rezultata. Ova frekvencija koja je vidljiva na grafičkom prikazu bi odgovarala periodu od 24 sata. To znači da je ovom frekvencijom obuhvaćen rad crpne stanice Modrič. Crpna stanica Modrič definira rubni uvjet s jedne strane, odnosno definira stanje u usisnom kanalu, dok je s druge strane rubni uvjet more. Elektrovodljivost u pijezometru P1 ovisi o ova dva rubna uvjeta koji definiraju položaj slanog klina, a sam rad crpne stanice ovisi o količini oborina.

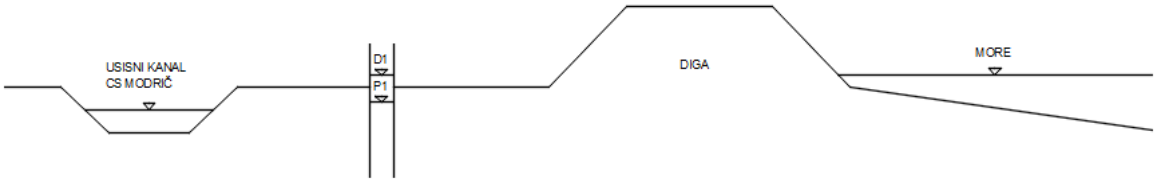


Slika 5.15. Grafički prikaz gustoće spektra snage signala elektrovodljivosti u pijezometru P1 za ljeto 2015. godine

Na Slici 5.15. vidi se da gustoća spektra snage signala elektrovodljivosti u pijezometru P1 ima jednu vršnu vrijednost koja odgovara frekvenciji 0,0416 cph, dok vršna vrijednost koja odgovara frekvenciji 0,083 cph nije vidljiva. To znači da promjene elektrovodljivosti ne ovise direktno o oscilacijama razine mora. Kako je ovdje razmatran ljetni period, utjecaj oborina, pa samim time i rada crpne stanice Modrič je minimaliziran, što je za rezultat dalo umanjen šum na grafičkom prikazu rezultata.

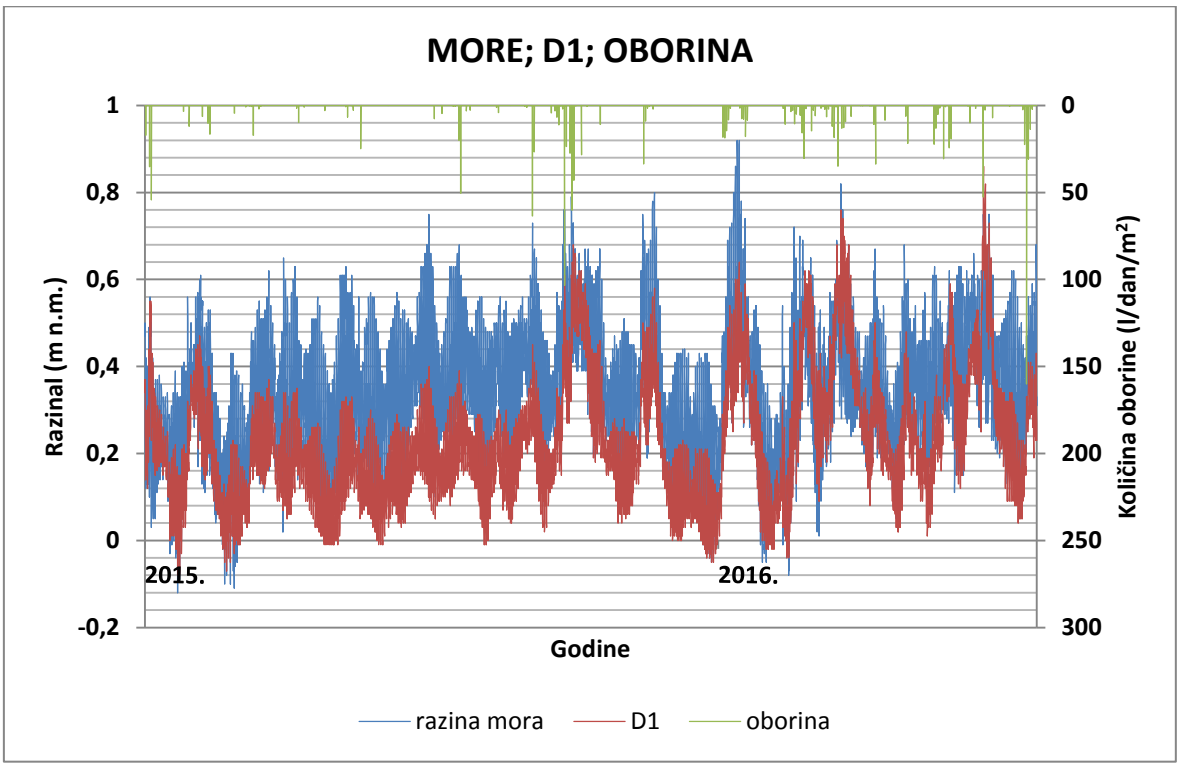
5.3. Rezultati cross – korelacijske analize i interpretacija istih

Cross – korelacijska analiza provedena je između vremenskih serija podataka: razine mora; potencijala u D1; razine u P1, te elektrovodljivosti u P1.



Slika 5.16. Shematski prikaz presjeka na lokaciji pijezometara P1 i D1

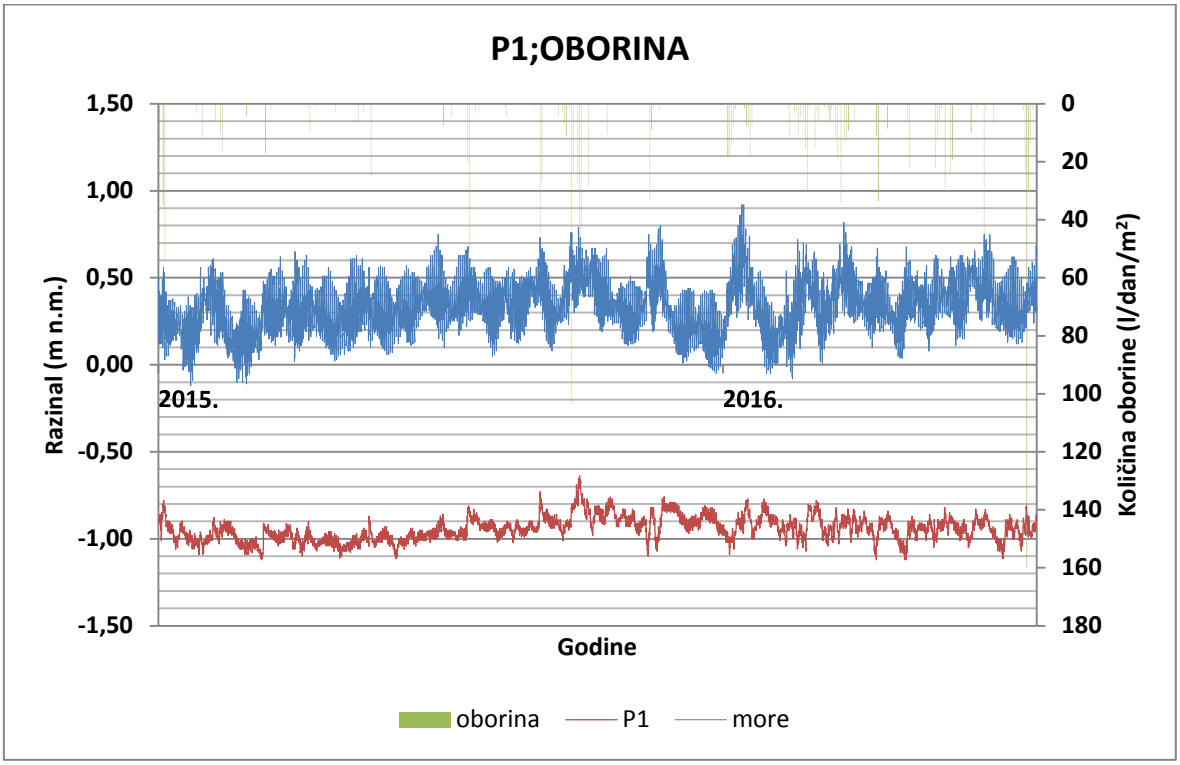
Prije prikaza ulaznih podataka i interpretacije rezultata, biti će prikazan utjecaj oborine na stanje u pijezometrima D1 i P1.



Slika 5.17. Utjecaj oborine na stanje u pijezometru D1

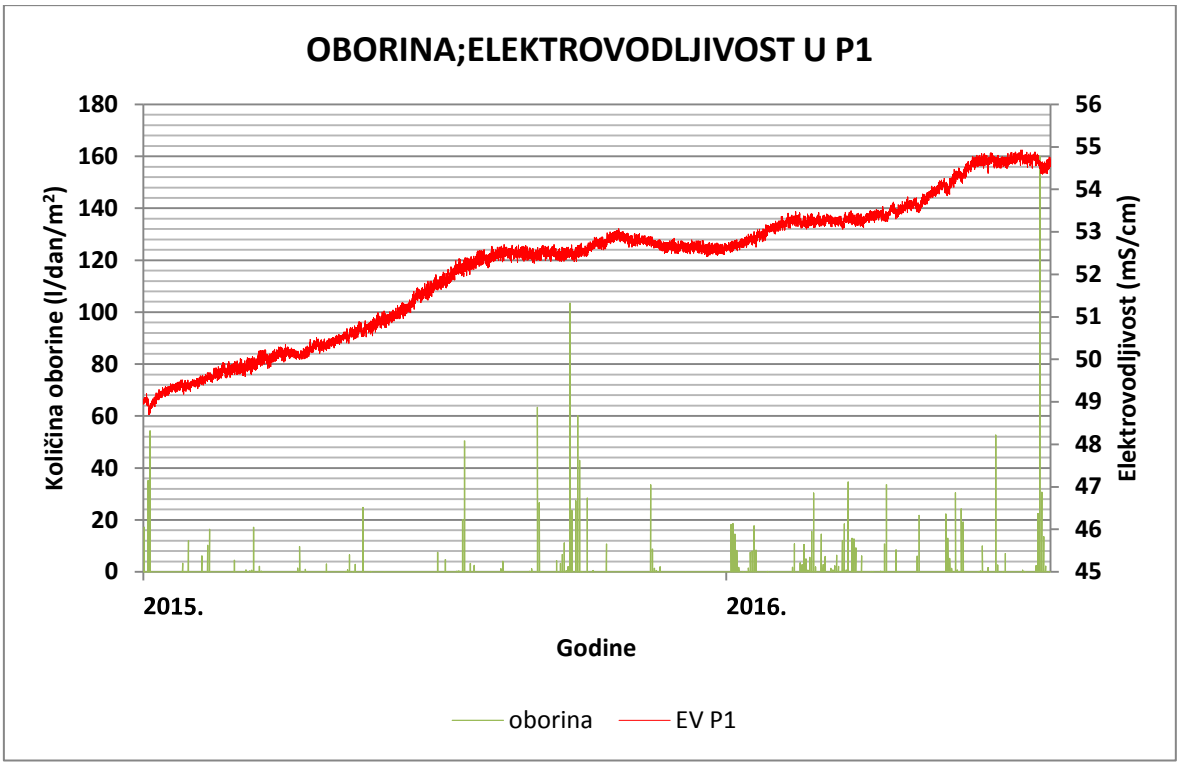
Na Slici 5.17. vidi se da potencijal u D1 prati oscilacije morske razine. Međutim, za vrijeme ekstremnih oborina i u razdobljima kada su oborine prisutne u kontinuitetu,

potencijal u D1 raste, te u nekim trenutcima prelazi samu razinu mora. Dakle, duboki vodonosni sloj je u vezi sa okršenim masivom oko doline, te uslijed porasta tlaka na rubu doline dolazi do porasta tlaka u pijezometru D1.



Slika 5.18. Utjecaj oborine na stanje u pijezometru P1 (utjecaj na razinu)

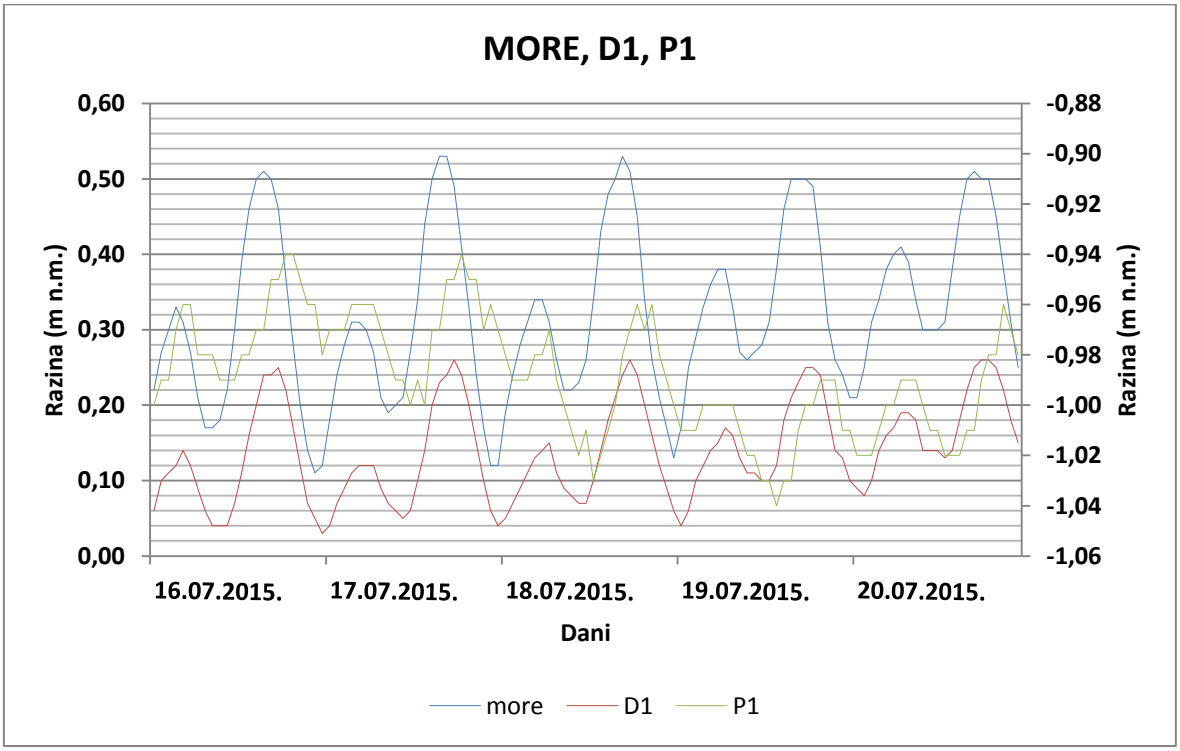
Na Slici 5.18. vidljiv je odgovor u pijezometra P1 na oborinu registriranu na meteorološkoj postaji Ploče u vidu porasta razine. Također se naslućuje utjecaj mora na dinamiku oscilacija razine u pijezometru P1.



Slika 5.19. Utjecaj oborine na stanje u pijezometru P1 (utjecaj na EV)

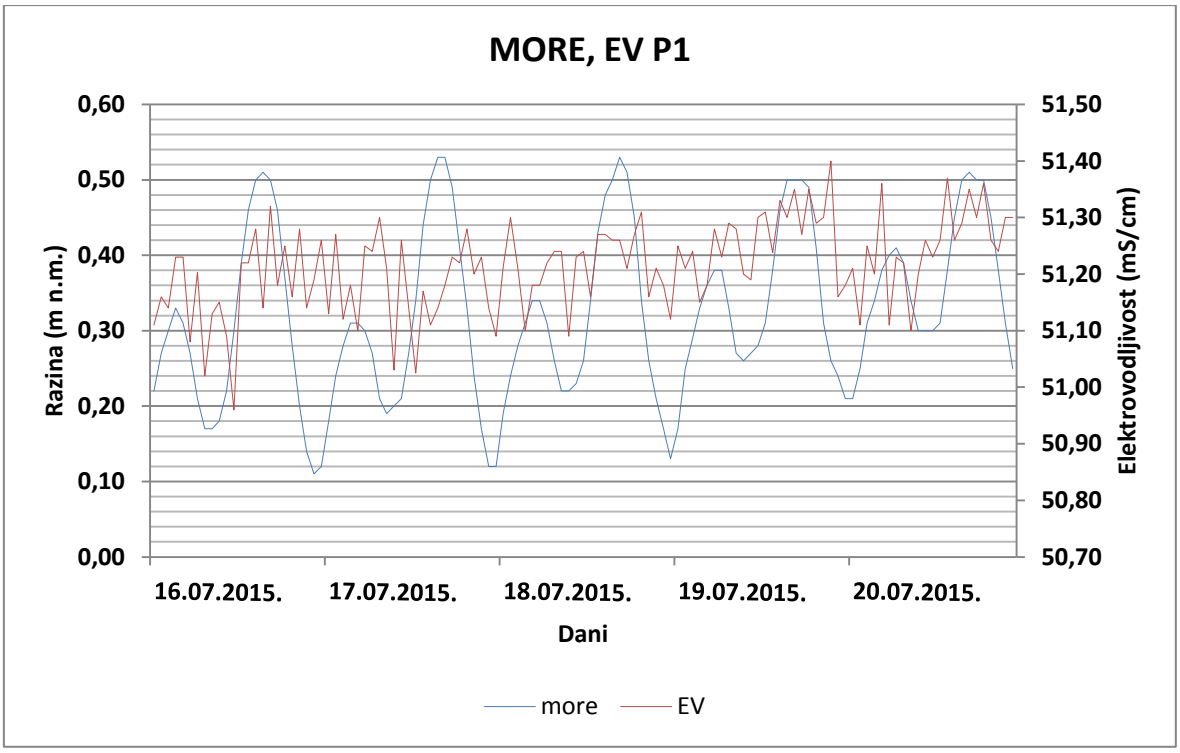
Na Slici 5.19. vidljivo je da oborina izaziva opadanje elektrovodljivosti. Sa Slika 5.17. – 5.19. zaključuje se da postoji utjecaj oborine i na stanje u pijezometru D1 i na stanje u pijezometru D1, stoga su u cross – korelacijskoj analizi izdvojena sušna i kišna razdoblja. Cross – korelacijska analiza provedena je za četiri vremenska razdoblja duljine po 5 dana unutar 2015. i 2016. godine. Analizirana su dva sušna razdoblja: 16.-20.07.2015. i 05.-09.06.2016., te dva kišna razdoblja: 11.-15.10.2015. i 04.-08.03.2016.

5.2.1. Sušno razdoblje 16. – 20.07.2015.



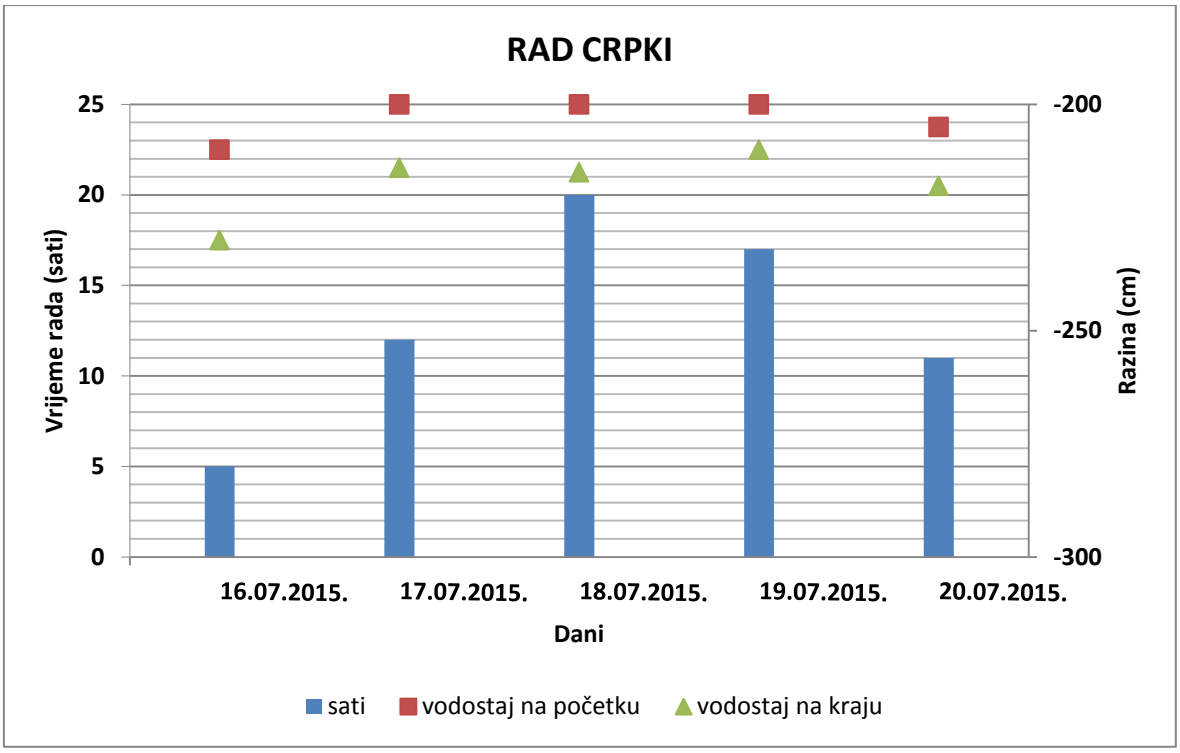
Slika 5.20. Grafički prikaz odnosa mora, D1 i P1 za razdoblje 16. – 20.07.2015.

Na Slici 5.20. uočava se da oscilacije potencijala u D1 prate oscilacije razine mora. Promotrimo li liniju koja prikazuje promjene razine u P1, nazire se djelomično praćenje oscilacija razine mora, ali ne kao kod D1.



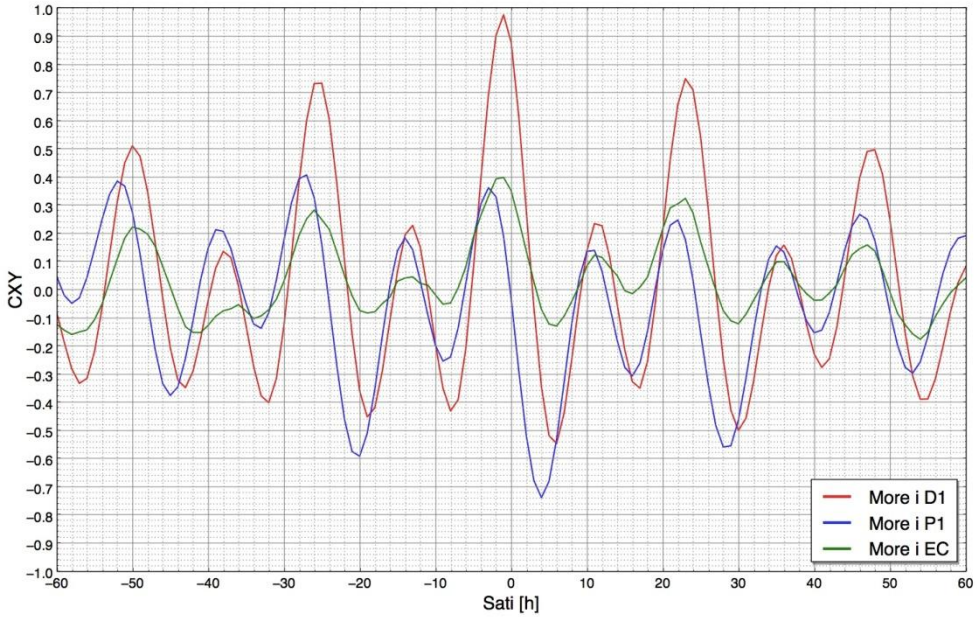
Slika 5.21. Grafički prikaz odnosa mora i elektrovodljivosti u P1 za razdoblje 16. – 20.07.2015.

Na Slici 5.21. ne uočava se velik utjecaj oscilacija morske razine na ponašanje elektrovodljivosti u P1.



Slika 5.22. Grafički prikaz rada CS Modrič za razdoblje 16. – 20.07.2015.

U promatranom razdoblju oborina nije bilo. Crpke su radile svaki dan, najviše dana 18.07.2015. kada su odradile 20 sati. Prosječno dnevno povećanje razine u usisnom kanalu CS Modrič u tom razdoblju je 15 cm.



Slika 5.23. Rezultati Cross korelacijske analize za razdoblje 16. – 20.07.2015.

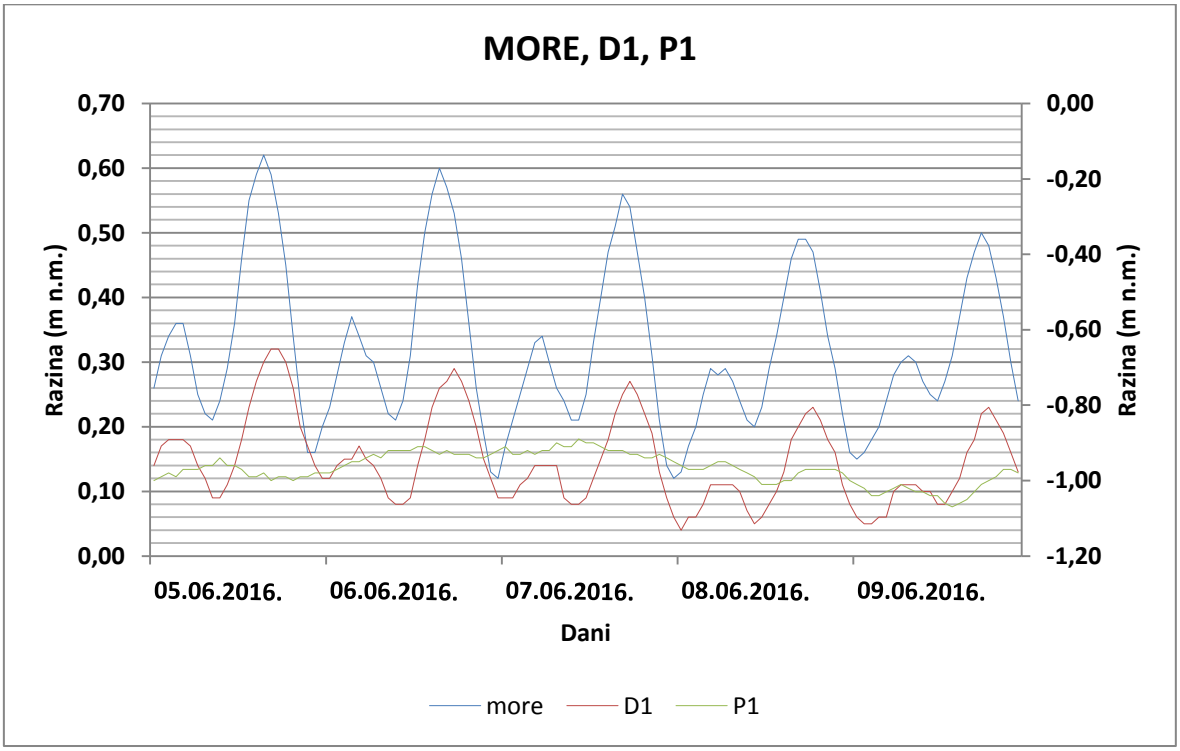
Sa Slike 5.23. jasno se vidi sljedeće:

- stanje u pijezometru D1 (crvena linija) je izričito pod utjecajem mora, koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka mora i potencijala u D1 iznosi $C_{xy} = 0,97$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je značajna. Oscilacija potencijala u D1 kasni jedan sat za oscilacijom razine mora

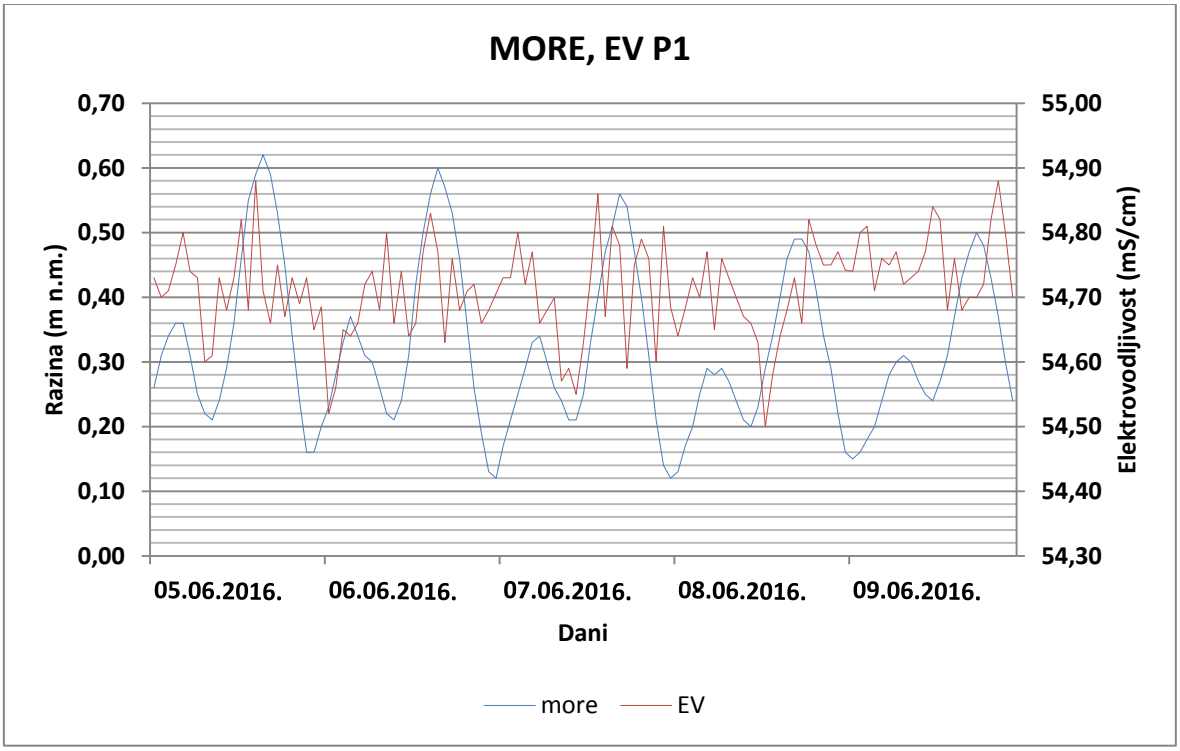
- razina u pijezometru P1 (plava linija) osim o oscilacijama morske razine ovisi i o razini u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno o količini crpljenja vode iz kanala. Zato koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka mora i razine u P1 iznosi $C_{xy} = 0,36$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje oscilacija razine u pijezometru P1 u odnosu na oscilaciju razine mora je 3 sata

- elektrovodljivost u pijezometru P1 (zelena linija) osim o oscilacijama morske razine također ovisi o stanju u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno položaj klina je definiran apsolutnom kotom mora s jedne, te razinom u kanalu s druge strane. Koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka razine mora i elektrovodljivosti u P1 iznosi $C_{xy} = 0,40$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje promjene elektrovoldjivosti u odnosu na promjene razine mora je 1 sat.

5.2.2. Sušno razdoblje 05. - 09.06.2016.

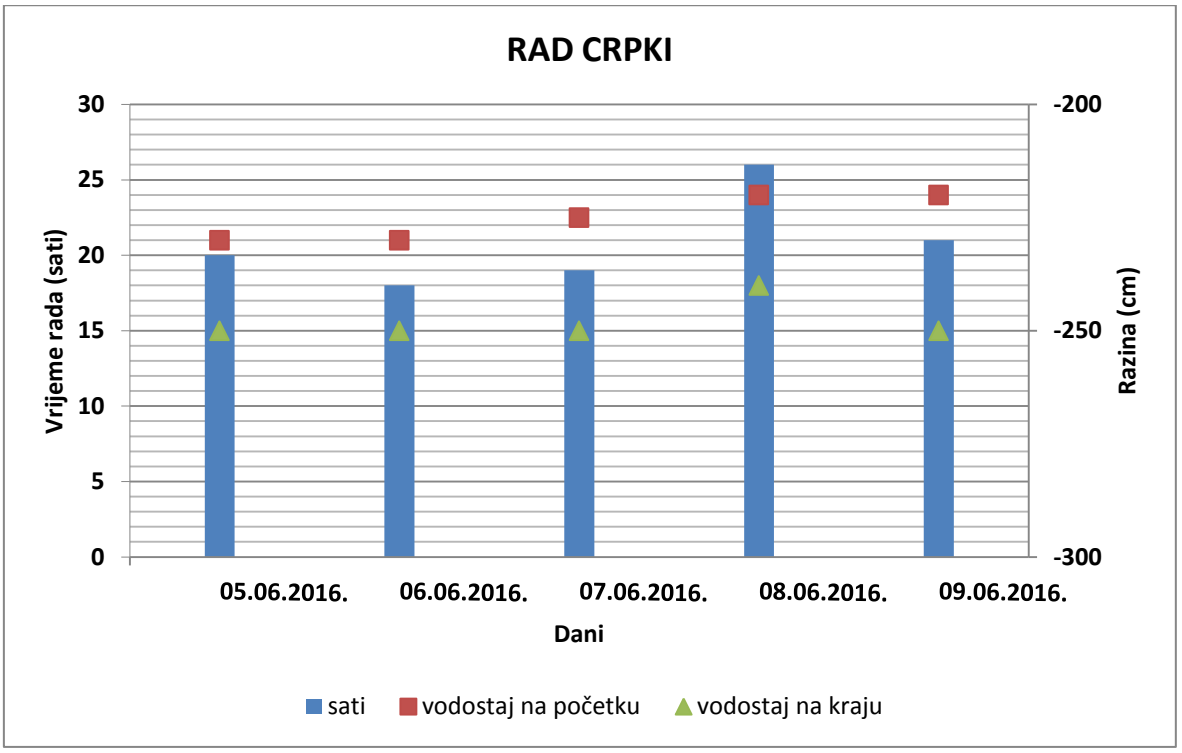


Slika 5.24. Grafički prikaz odnosa mora, D1 i P1 za razdoblje 05. – 09.06.2016.



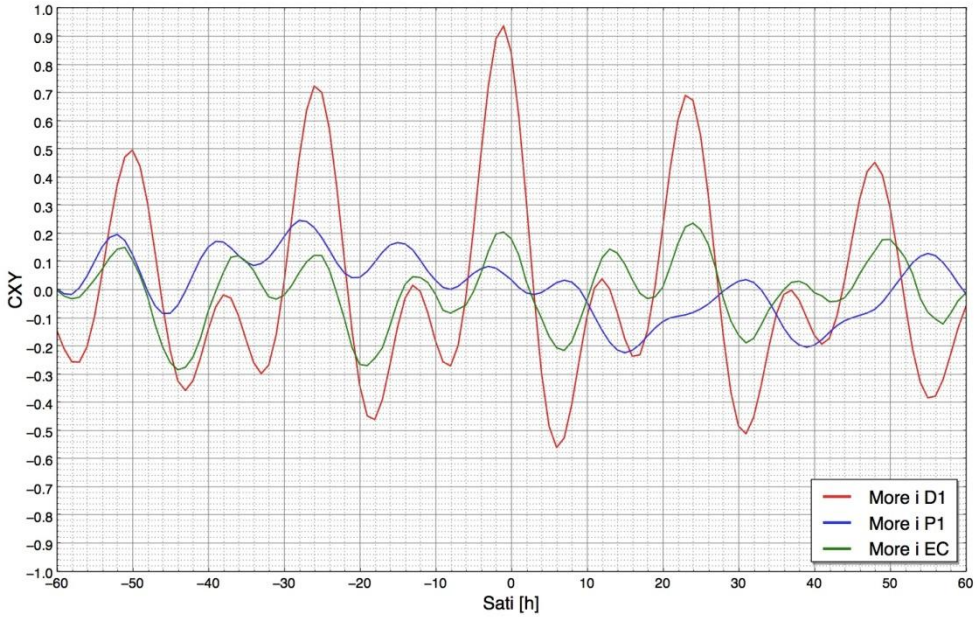
Slika 5.25. Grafički prikaz odnosa mora i elektrovodljivosti u P1 za razdoblje 05. – 09.06.2016.

Na Slici 5.24. vidi se da D1 prati oscilacije razine mora, dok se za P1 to niti ne naslućuje. Na Slici 5.25. naslućuje se da izraženija plima izaziva porast elektrovodljivosti.



Slika 5.26. Grafički prikaz rada CS Modrič za razdoblje 05. – 09.06.2016.

U promatranom razdoblju oborina nije bilo. Crpke su radile svaki dan, najviše dana 08.06.2016. kada su odradile 26 sati. Prosječno dnevno povećanje razine u usisnom kanalu CS Modrič u tom razdoblju je 23 cm.



Slika 5.27. Rezultati Cross korelacijske analize za razdoblje 05. – 09.06.2016

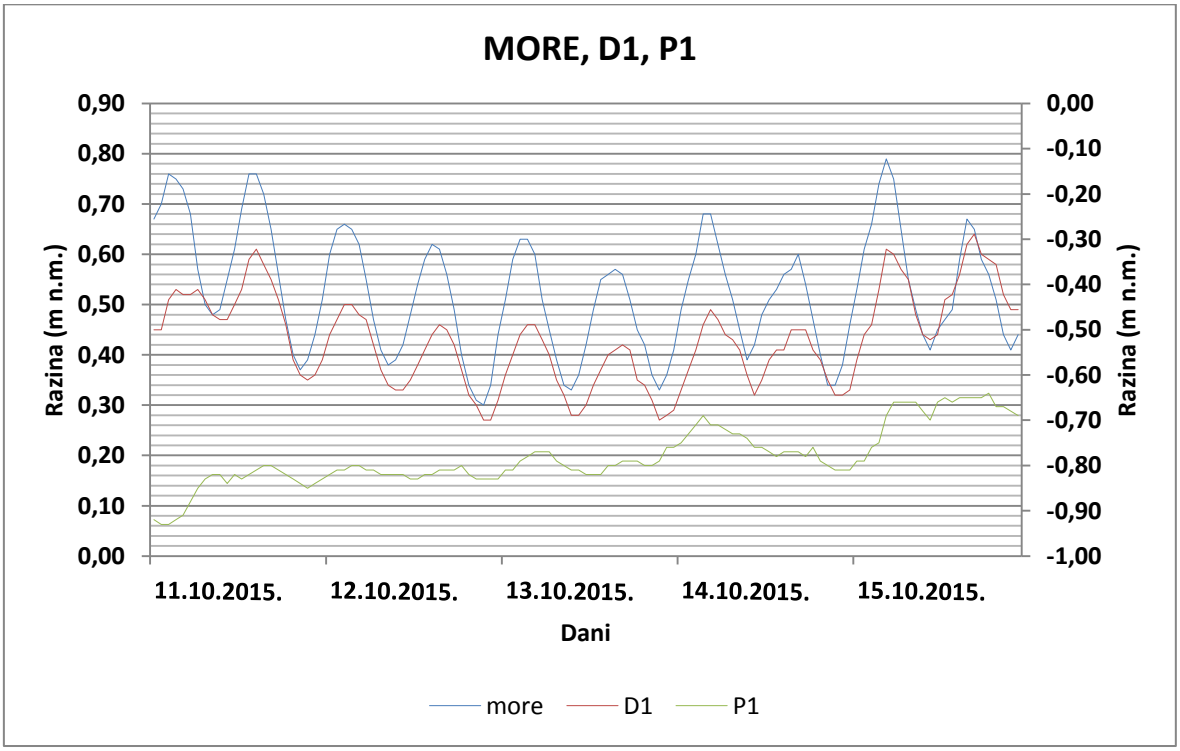
Sa Slike 5.27. jasno se vidi sljedeće:

- stanje u pijezometru D1 (crvena linija) je izričito pod utjecajem mora, koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka mora i potencijala u D1 iznosi $C_{xy} = 0,94$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je značajna. Oscilacija potencijala u D1 kasni jedan sat za oscilacijom razine mora

- razina u pijezometru P1 (plava linija) osim o oscilacijama morske razine ovisi i o razini u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno o količini crpljenja vode iz kanala. Zato koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka mora i razine u P1 iznosi $C_{xy} = 0,09$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje oscilacija razine u pijezometru P1 u odnosu na oscilaciju razine mora je 3 sata

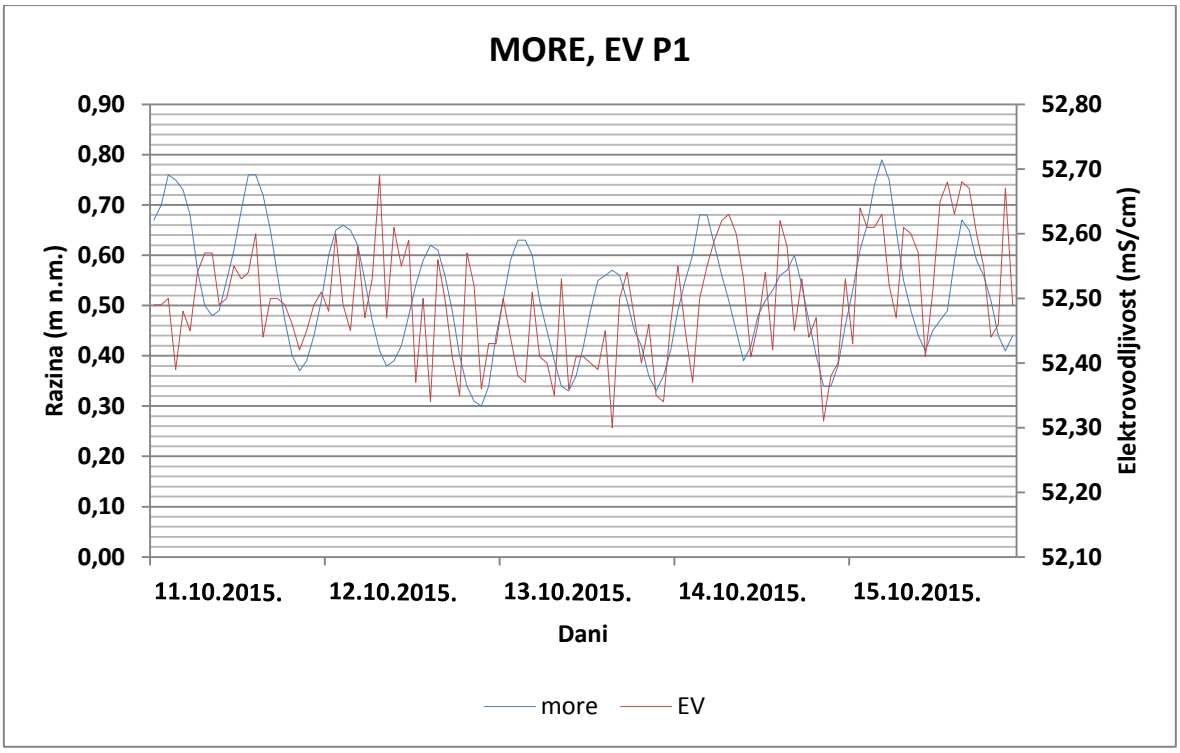
- elektrovodljivost u pijezometru P1 (zelena linija) osim o oscilacijama morske razine također ovisi o stanju u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno položaj klina je definiran apsolutnom kotom mora s jedne, te razinom u kanalu s druge strane. Koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka razine mora i elektrovodljivosti u P1 iznosi $C_{xy} = 0,21$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje promjene elektrovoldjivosti u odnosu na promjene razine mora je 1 sat.

5.2.3. Kišno razdoblje 11.-15.10.2015.



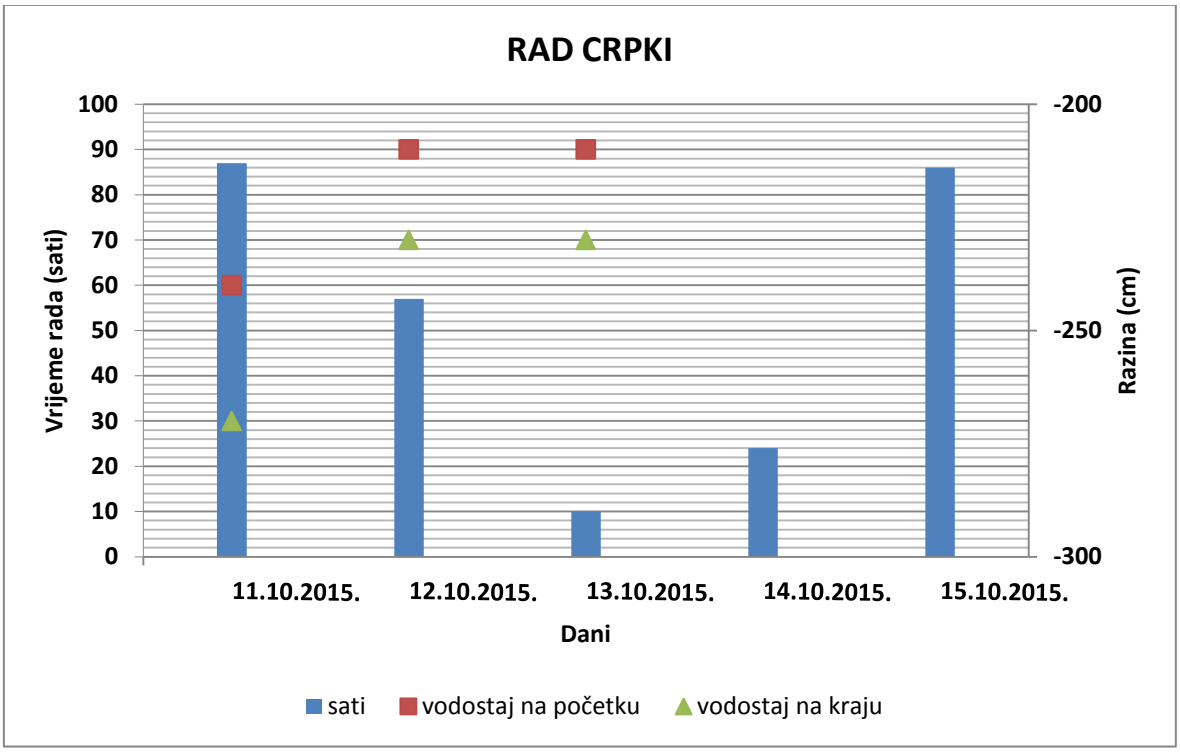
Slika 5.28. Grafički prikaz odnosa mora, D1 i P1 za razdoblje 11. – 15.10.2015.

Na Slici 5.28. vidi se da D1 i dalje prati oscilacije razine mora, s tim da je uslijed oborina došlo do porasta potencijala u D1, vidljivo je da je 15.10.2015. potencijal u D1 iznad razine mora. Za oscilacije razine u P1 se ne naslućuje praćenje oscilacija razine mora, ali je vidljiv generalni porast razine u P1 u promatranom razdoblju.

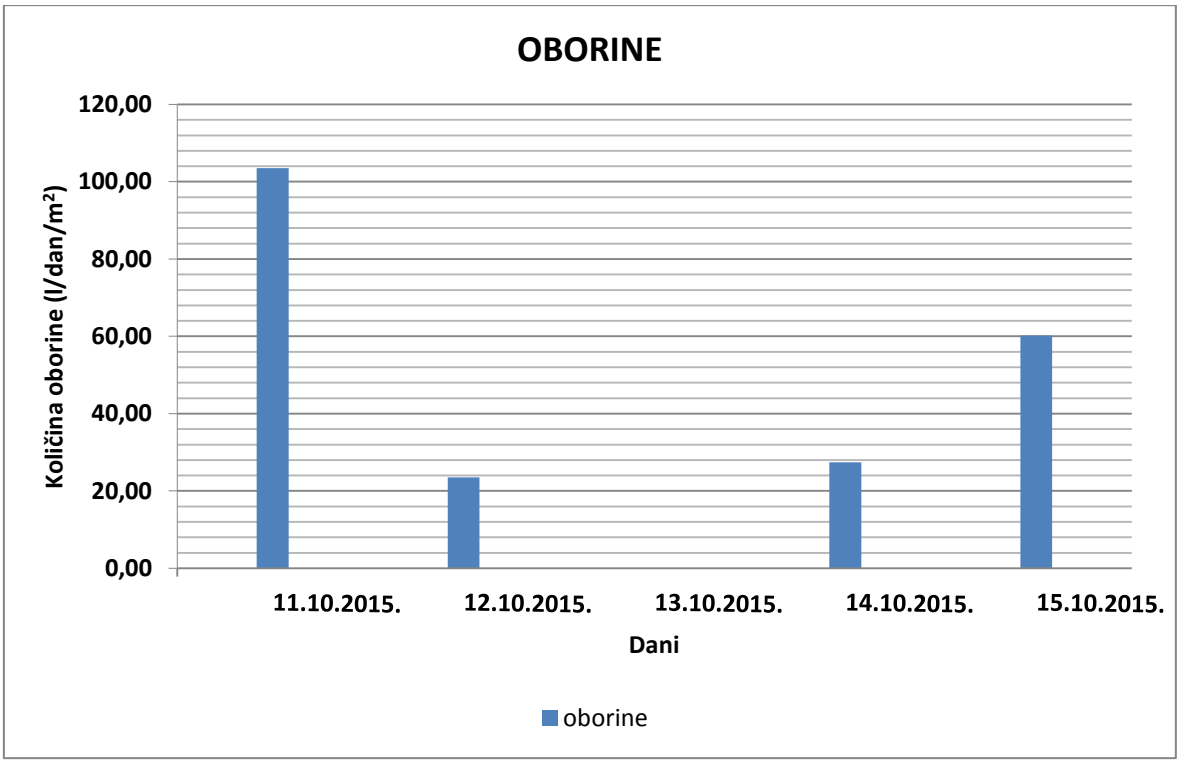


Slika 5.29. Grafički prikaz odnosa mora i elektrovodljivosti u P1 za razdoblje 11. – 15.10.2015.

Sa Slike 5.29. ne mogu se iščitati utjecaji promjene razine mora na elektrovodljivost u P1.

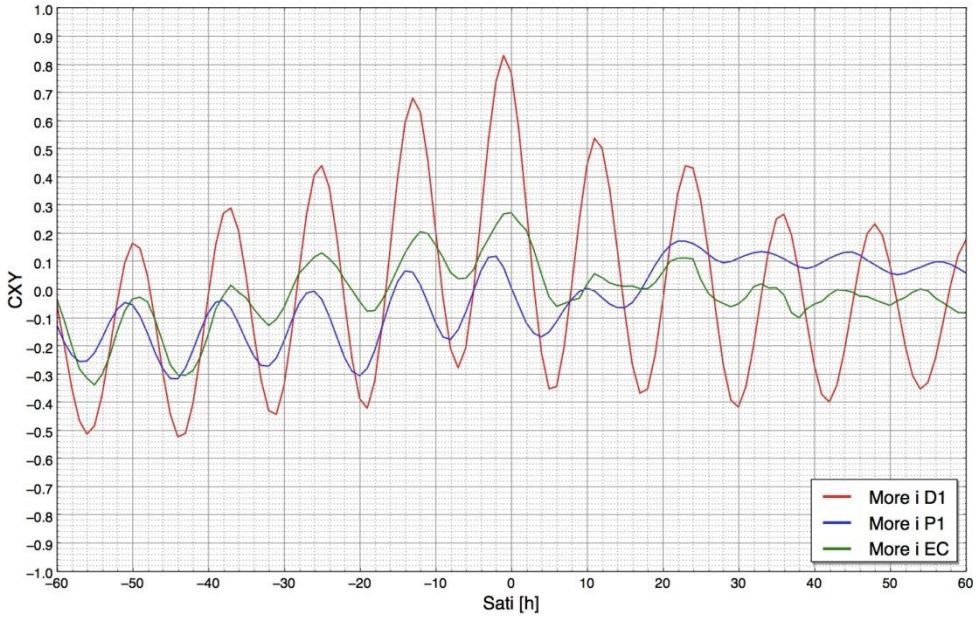


Slika 5.30. Grafički prikaz rada CS Modrič za razdoblje 11. – 15.10.2015.



Slika 5.31. Grafički prikaz oborina za razdoblje 11. – 15.10.2015.

Promatrano razdoblje je oborinsko, sa ekstremom od 103,50 l/dan/m^2 dana 11.10.2015. Samo 13.10.2015. unutar promatranog razdoblja nije padala kiša. Crpke su radile svaki dan, najviše dana 11.10.2015. kada su odradile 87 sati. Prosječno dnevno povećanje razine u usisnom kanalu CS Modrič u tom razdoblju je 20 cm, s tim da je voda u kanalu na nešto višim razinama u odnosu na sušna razdoblja, osim na dan 11.10.2015. kada se vjerojatno radila rezerva u usisnom kanalu za prihvaćanje vodnog vala.



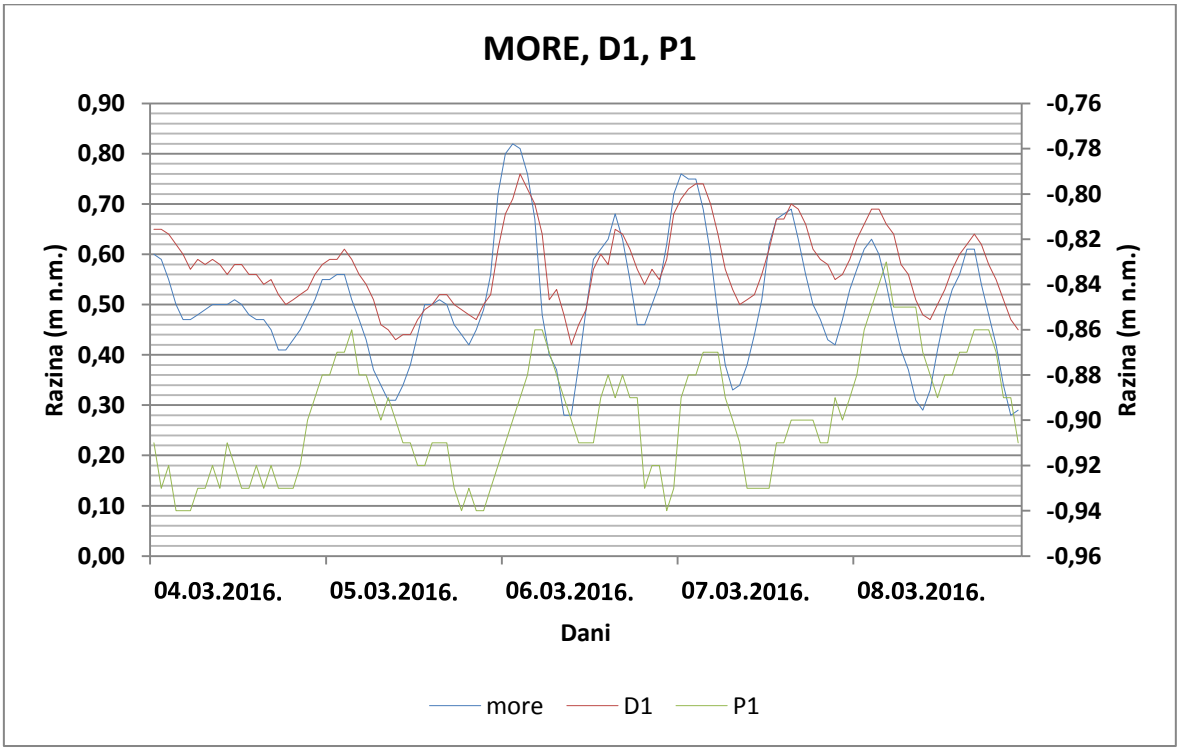
Slika 5.32. Rezultati Cross korelacijske analize za razdoblje 05. – 09.06.2016

Sa Slike 5.32. jasno se vidi sljedeće:

- stanje u pijezometru D1 (crvena linija) je pod utjecajem mora, koeficijent Cross korelacije za vremenske serije podataka mora i potencijala u D1 iznosi $C_{xy} = 0,83$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je značajna. Koeficijent cross korelacije u odnosu na sušna razdoblja je osjetno manji, a smanjio ga je porast tlaka u D1 uslijed oborina. Oscilacija potencijala u D1 kasni jedan sat za oscilacijom razine mora
- razina u pijezometru P1 (plava linija) osim o oscilacijama morske razine ovisi i o razini u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno o količini crpljenja vode iz kanala. Zato koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka mora i razine u P1 iznosi $C_{xy} = 0,11$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje oscilacija razine u pijezometru P1 u odnosu na oscilaciju razine mora je 3 sata

- elektrovodljivost u pijezometru P1 (zelena linija) osim o oscilacijama morske razine također ovisi o stanju u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno položaj klina je definiran apsolutnom kotom mora s jedne, te razinom u kanalu s druge strane. Koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka razine mora i elektrovodljivosti u P1 iznosi $C_{xy} = 0,27$, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje promjene elektrovoldjivosti u odnosu na promjene razine mora je 1 sat.

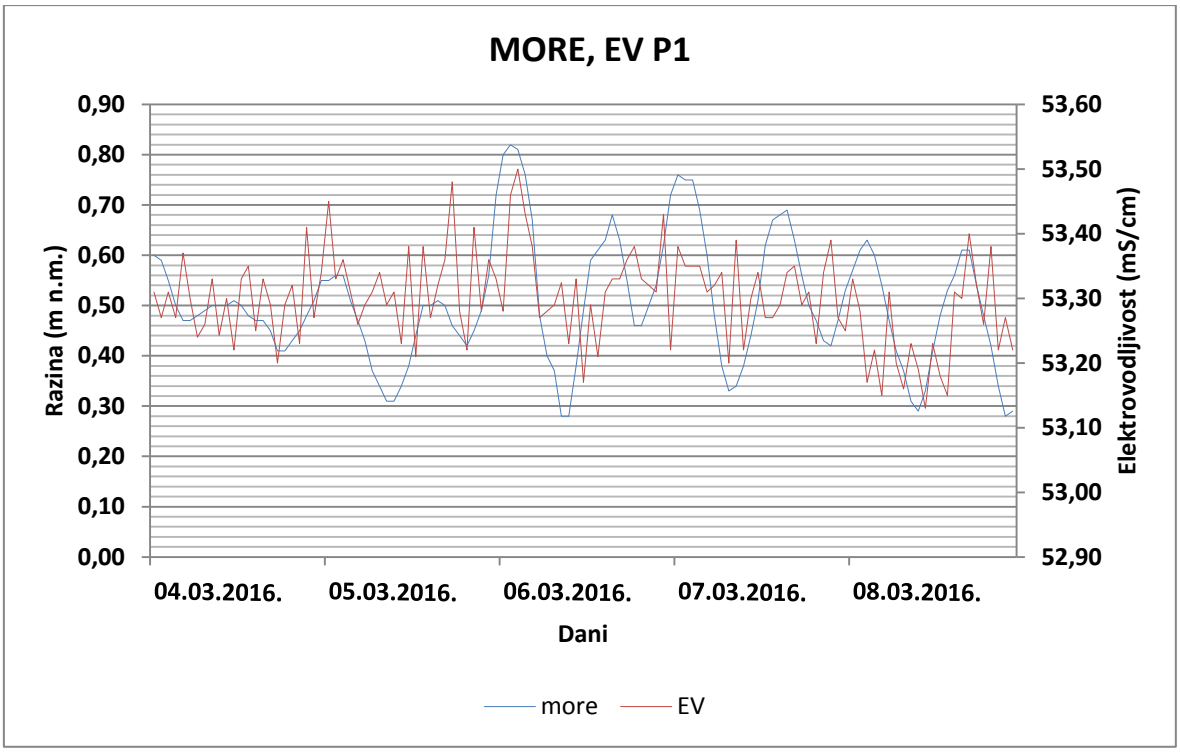
5.2.4. Kišno razdoblje 04.-08.03.2016.



Slika 5.33. Grafički prikaz odnosa mora, D1 i P1 za razdoblje 04. – 08.03.2016.

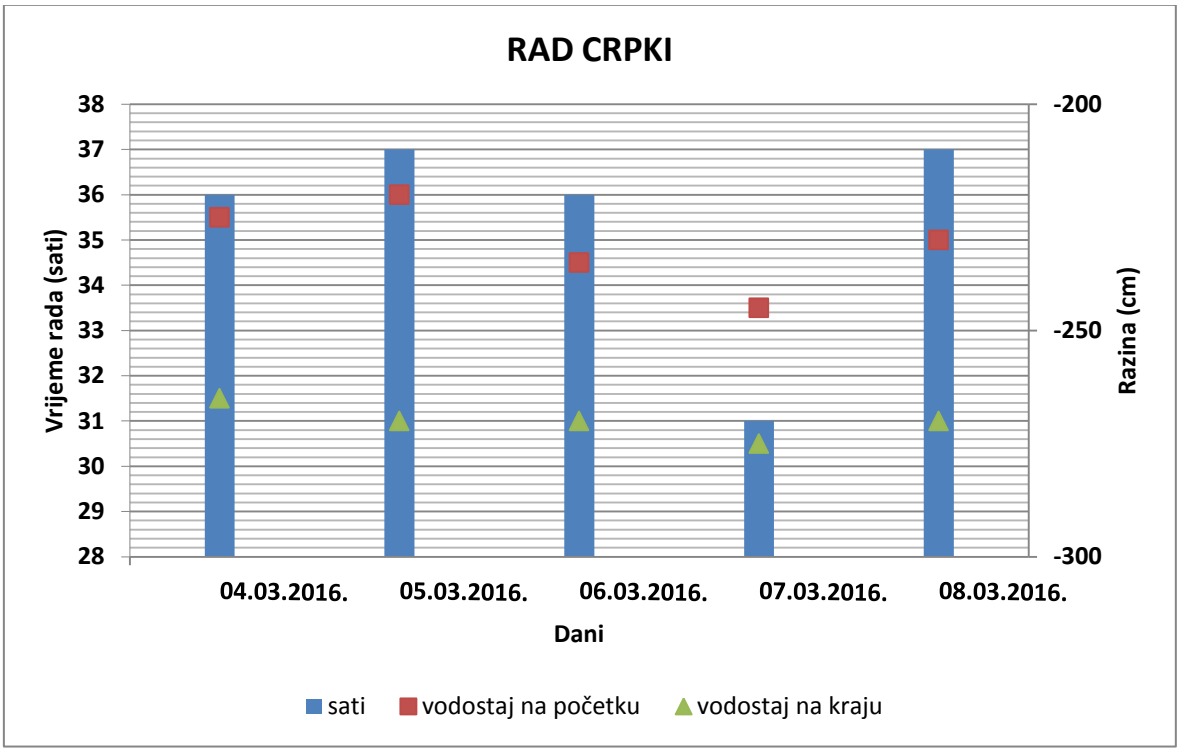
Na Slici 5.33. vidi se da D1 prati oscilacije razine mora, s tim da je uslijed oborina došlo do porasta potencijala u D1, vidljivo je da je od 07.03.2016. potencijal u D1 iznad razine mora.

Za oscilacije razine u P1 naslućuje se praćenje oscilacija razine mora.

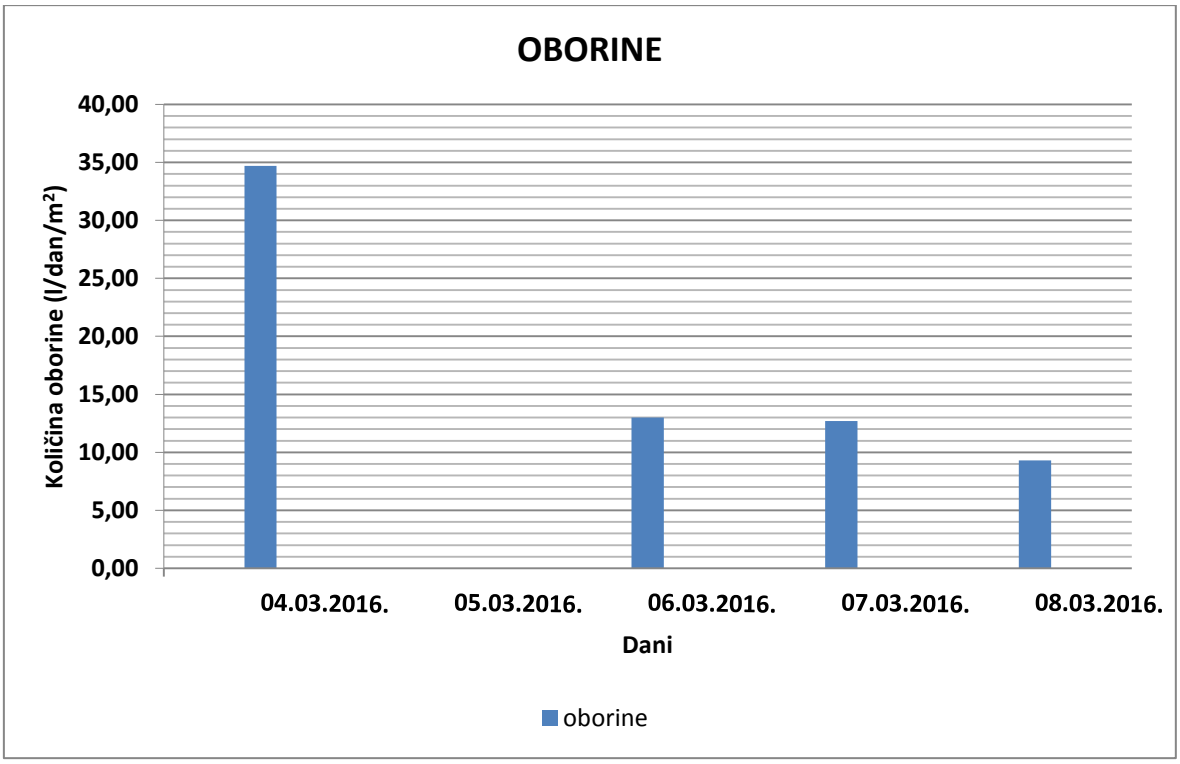


Slika 5.34. Grafički prikaz odnosa mora i elektrovodljivosti u P1 za razdoblje 04. – 08.03.2016.

Sa Slike 5.34. ne mogu se iščitati utjecaji promjene razine mora na elektrovodljivost u P1.

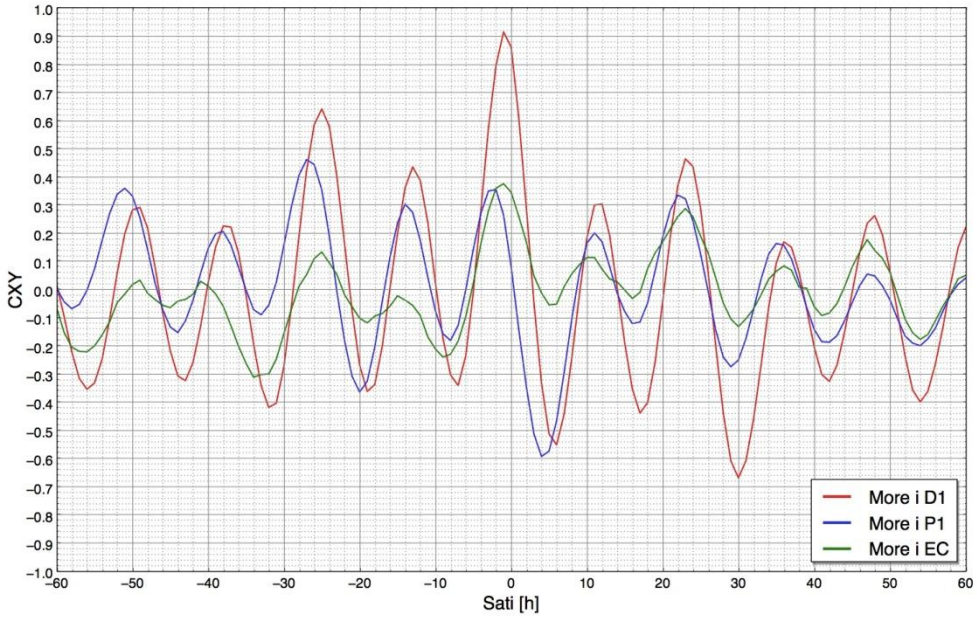


Slika 5.35. Grafički prikaz rada CS Modrič za razdoblje 04. – 08.03.2016.



Slika 5.36. Grafički prikaz oborina za razdoblje 11. – 15.10.2015.

Promatrano razdoblje je oborinsko, sa maksimalnom oborinom od 34,70 l/dan/m^2. Samo 05.03.2016. unutar promatranog razdoblja nije padala kiša. Crpke su radile svaki dan, najviše dana 05. i 08.03.2016. kada su odradile po 37 sati. Prosječno dnevno povećanje razine u usisnom kanalu CS Modrič u tom razdoblju je 39 cm, s tim da je voda u kanalu na sličnim razinama kao i u sušnim razdobljima.



Slika 5.37. Rezultati Cross korelacijske analize za razdoblje 05. – 09.06.2016

Sa Slike 5.37. jasno se vidi sljedeće:

- stanje u pijezometru D1 (crvena linija) je pod utjecajem mora, koeficijent Cross korelacije za vremenske serije podataka mora i potencijala u D1 iznosi C_{xy} = 0,91, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je značajna. Koeficijent cross korelacije u odnosu na sušna razdoblja je manji, a smanjio ga je porast tlaka u D1 uslijed oborina. Oscilacija potencijala u D1 kasni jedan sat za oscilacijom razine mora

- razina u pijezometru P1 (plava linija) osim o oscilacijama morske razine ovisi i o razini u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno o količini crpljenja vode iz kanala. Zato koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka mora i razine u P1 iznosi C_{xy} = 0,35, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje oscilacija razine u pijezometru P1 u odnosu na oscilaciju razine mora je 3 sata

-elektrovodljivost u pijezometru P1 (zelena linija) osim o oscilacijama morske razine također ovisi o stanju u usisnom kanalu CS Modrič, odnosno položaj klina je definiran apsolutnom kotom mora s jedne, te razinom u kanalu s druge strane. Koeficijent cross korelacije za vremenske serije podataka razine mora i elektrovodljivosti u P1 iznosi C_{xy} = 0,37, odnosno korelacija između tih dviju varijabli je slaba. Kašnjenje promjene elektrovodjivosti u odnosu na promjene razine mora je 1 sat.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađeni su i analizirani podaci prikupljeni tijekom 2015. i 2016. godine na lokaciji Diga u dolini rijeke Neretve, neposredno uz obalu Jadranskog mora. Za analizu je odabrana ova lokacija zbog blizine mora, jer ovdje prvenstveno dinamika mora diktira stanje u vodonosnim slojevima, a za vrijeme izraženijih oborina i rad crpne stanice Modrič dolazi do izražaja.

Obrađeni su:

- podaci iz plitkog pijezometra P1 (razina, elektrovodljivost, temperatura)
- podaci iz dubokog pijezometra D1 (potencijal)
- podaci sa mareografa
- podaci sa limnigrafa
- podaci sa crpnih stanica Modrič i Prag (broj sati rada crpki, vodostaji na početku rada, vodostaji na kraju rada)
- klimatološki podaci (tlak zraka, oborine, temperatura zraka)
- mjerenja odrađena prilikom uzimanja uzoraka iz pijezometara

U analizama nisu uzeti u obzir: temperatura vode u pijezometru P1; podaci sa limnigrafa; rad crpne stanice Prag; tlak zraka i temperatura zraka.

Primjenom sljedećih metoda:

- linearna regresija s pripadajućim koeficijentom korelacije
- spektralna analiza
- cross korelacija

dobili su se odgovori na međusobni odnos gore navedenih parametara.

Linearna regresija s pripadajućim koeficijentom korelacije pokazala je sljedeće:

- broj sati rada crpne stanice Modrič ovisi o oborini. Pripadajući koeficijent korelacije je r = 0,54 što ukazuje da možda rad crpne stanice nije optimalan, jer je za očekivati veću povezanost između ova dva parametra
- oscilacije razine mora utječu na oscilacije potencijala u pijezometru D1. Pripadajući koeficijent korelacije je r = 0,79
- oscilacije razine mora jako malo utječu na promjenu razine vodnog lica u pijezometru P1, kao i na promjene elektrovodljivosti u pijezometru P1.

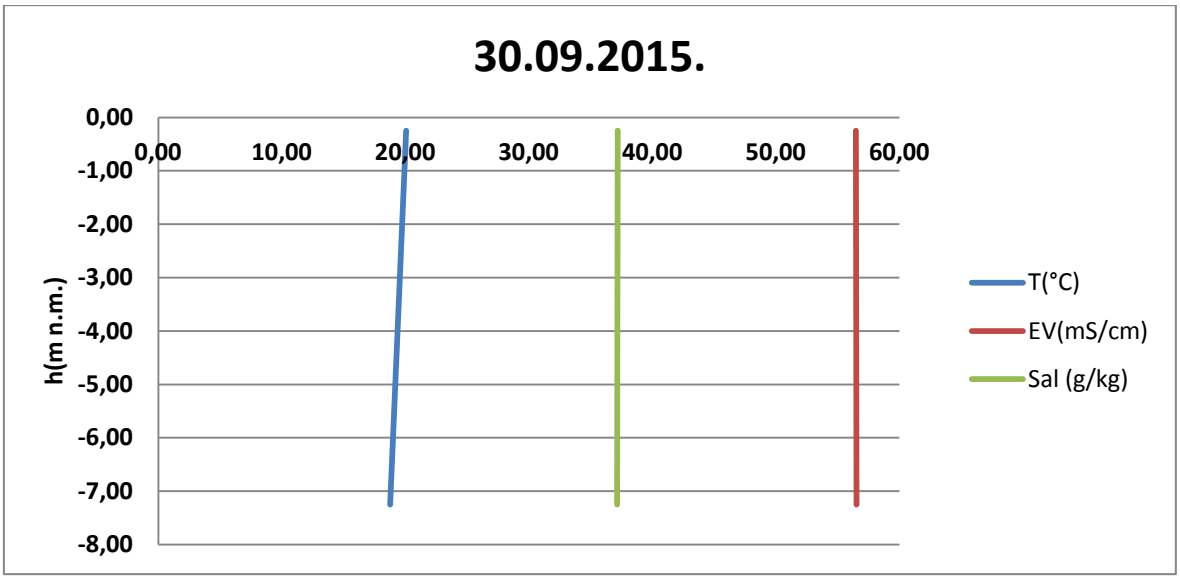
Spektralna analiza pokazala je sljedeće:

- oscilacije potencijala u pijezometru D1 imaju istu frekvenciju kao i oscilacije razine mora
- oscilacije razine vodnog lica u pijezometru P1 imaju istu frekvenciju kao i oscilacije razine mora, s tim da su vršne vrijednosti gustoće spektra snage osjetno manje nego kod vršnih vrijednosti gustoće spektra snage mora, što ukazuje na utjecaj drugih varijabli (oborina i rad crpne stanice Modrič)
- promjene elektrovodljivosti u pijezometru P1 nemaju iste frekvencije kao i osilacije razine mora (utjecaj oborine, rada crpne stanice Modrič, odnosno položaj slanog klina).

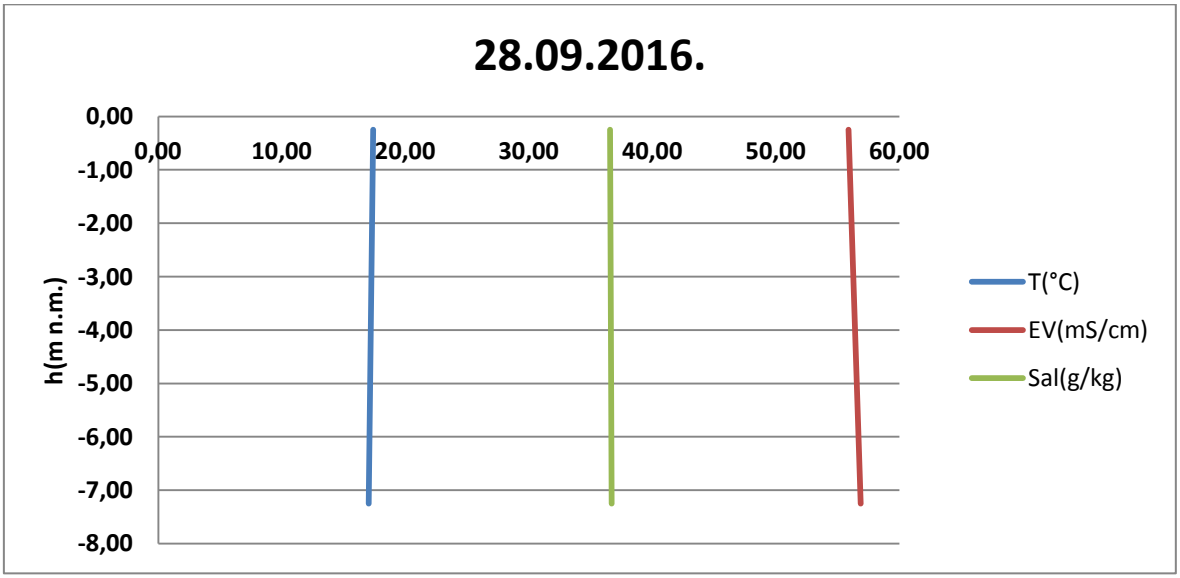
Cross korelacijska analiza pokazala je sljedeće:

- oscilacije potencijala u pijezometru D1 kasne 1 sat za oscilacijama razine mora
- promjena elektrovodljivosti u pijezometru P1 kasni 1 sat za promjenom razine mora
- promjena razine vodnog lica u pijezometru P1 kasni 3 sata za promjenom razine mora
- analiza je provedena za sušna i kišna razdoblja. U kišnim razdobljima koeficijenti cross korelacije su manji nego u sušnim razdobljima, što je i očekivano. Oborina, ni ona ekstremna, ne utječe na kašnjenje oscilacija potencijala u pijezometru D1, kašnjenje promjene razine u pijezometru P1 i kašnjenje promjene elektrovodljivosti u pijezometru P1 za oscilacijama razine mora.

Na Slikama 6.1. i 6.2. nalazi se grafički prikaz rasporeda parametara po vertikali u pijezometru D1, to su mjerenja koja su izvršena prilikom uzimanja uzoraka vode u pijezometrima.



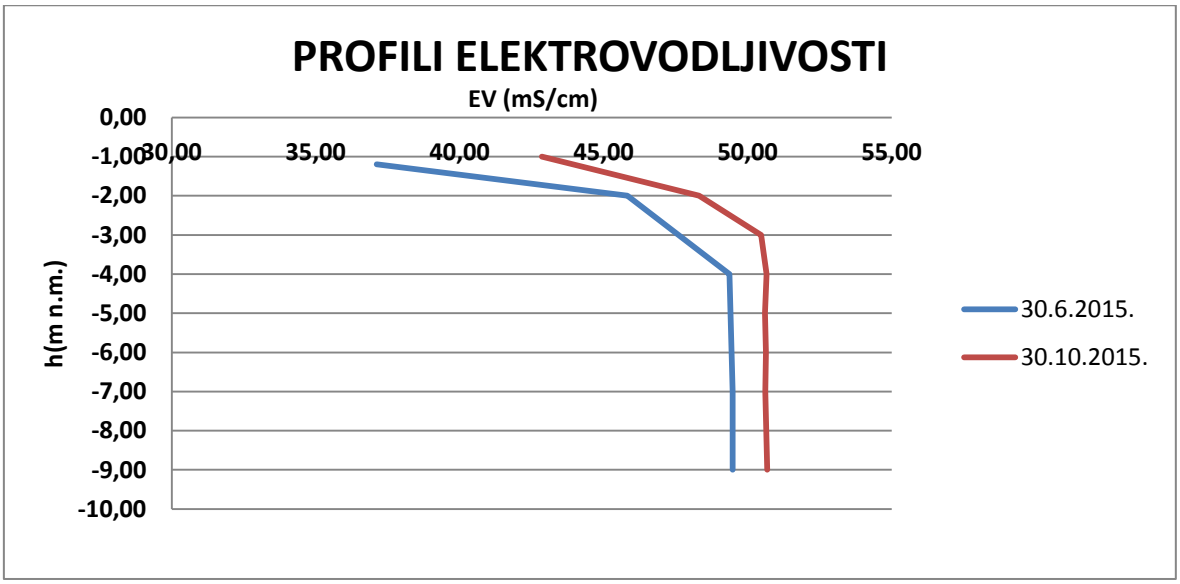
Slika 6.1. Grafički prikaz rasporeda parametara po vertikali u pijezometru D1 mjereno 30.09.2015. u 08:05 sati



Slika 6.2. Grafički prikaz rasporeda parametara po vertikali u pijezometru D1 mjereno 28.09.2016 u 14:10 sati

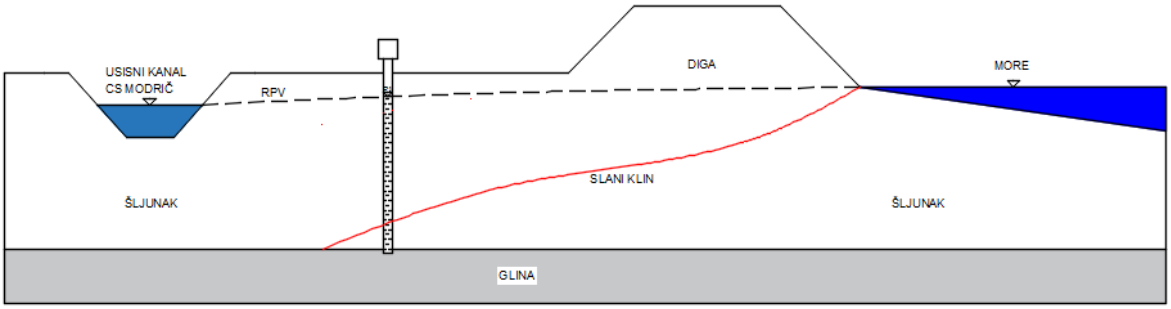
Na Slikama 6.1. i 6.2. vidi se da su parametri gotovo konstantni po visini u D1, a po vrijednostima parametara vidimo da se po cijeloj visini vodnog stupca pijezometra D1 nalazi morska voda. Dakle, zaključuje se da je pijezometar D1 u direktnoj vezi s morem, prema mjerenjima nema oscilacija vrijednosti saliniteta i elektrovodljivosti. Vladaju arteški uvjeti, potencijal u pijezometru D1 je veći dio vremena ispod razine mora, osim u razdoblju oborina jačeg intenziteta i trajanja.

Na Slici 6.3. nalazi se grafički prikaz vertikalne raspodjele elektrovodljivosti u pijezometru P1:



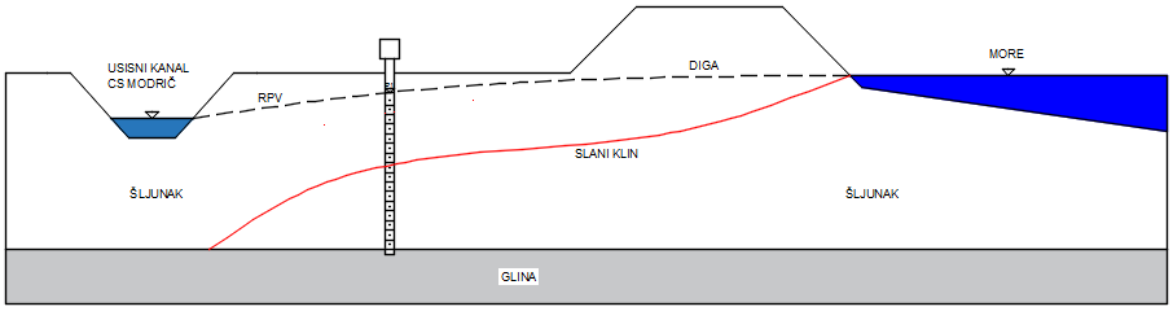
Slika 6.3. Grafički prikaz vertikalne raspodjele elektrovodljivosti u P1

Ako promotrimo crvenu liniju na Slikama 6.1. i 6.2., koja predstavlja vertikalni profil elektrovodljivosti u pijezometru D1, i usporedimo ih sa Slikom 6.3., uočavamo bitnu razliku u vertikalnom profilu elektrovodljivosti u pijezometru P1. Da bi se lakše shvatila dinamika ponašanja parametara u pijezometru P1, treba pogledati Slike 6.4. i 6.5.



Slika 6.4. Položaj slanog klina u situaciji kada je voda u usisnom kanalu na visokoj koti, a razina mora na niskoj koti

Slika 6.4. predstavlja povoljno stanje u pogledu položaja slanog klina, koji je istisnut prema obalnoj crti i vertikalno prema glini uslijed visokog vodostaja u usisnom kanalu crpne stanice Modrič (razina najčešće povišena uslijed oborine, uslijed čega se okolni teren pijezometra P1 prihranjuje slatkom vodom) i niske razine mora.



Slika 6.5. Položaj slanog klina u situaciji kada je voda u usisnom kanalu na niskoj koti, a razina mora na visokoj koti

Slika 6.5. predstavlja nepovoljno stanje u pogledu položaja slanog klina, koji se uslijed visoke razine mora, a niske razine u usisnom kanalu crpne stanice Modrič, nalazi bliže kanalu i na višoj koti.

Zaključuje se da na stanje u pijezometru P1 utječe više parametara:

- morske mijene (plima i oseka)
- apsolutna kota razine mora
- oborina (koja povećava količinu vode u usisnom kanalu, a samim time i broj radnih sati crpne stanice)
- razina u usisnom kanalu CS Modrič
- broj sati rada CS Modrič (količina crpljenja)

Dinamika navedenih procesa utječe na položaj slanog klina u pijezometru P1.

Na slici 6.3. plava linija predstavlja mjerenje provedeno dana 30.06.2015. u 15:14 sati, a crvena linija predstavlja mjerenje provedeno 30.10.2015. u 10:40 sati.

Kod mjerenja 30.06.2015. u 15:14 sati stanje je bilo sljedeće:

- more je bilo u fazi plime, sa apsolutnom kotom oko 0.40 m n.m.
- razina u usisnom kanalu CS Modrič je u 08:00 sati bila – 250 cm
- razina u usisnom kanalu CS Modrič je u 20:00 sati bila – 220 cm
- crpke su radile 26 sati ukupno toga dana

Kod mjerenja 30.10.2015. u 10:40 sati stanje je bilo sljedeće:

- more je bilo u fazi plime, sa apsolutnom kotom 0.67 m n.m.
- razina u usisnom kanalu CS Modrič je u 08:00 sati bila – 275 cm
- razina u usisnom kanalu CS Modrič je u 20:00 sati bila – 250 cm
- crpke su radile 20 sati ukupno toga dana

Iz prethodno navedenog zaključuje se sljedeće: 30.10.2015. rubni uvjet sa strane mora je viši, a rubni uvjet sa strane usisnog kanala CS Modrič je niži u odnosu na 30.06.2015.. To znači da je manji dotok svježe vode oko pijezometra P1, odnosno da je slani klin na višoj koti i bliže usisnom kanalu, te da je sama voda zaslanjenija. To se jasno visi na slici 6.3. gdje je crvena linija iznad plave linije.

Bilo bi dobro izraditi modele zaslanjenosti (2 D i 3D) u obalnom području Dige s ciljem boljeg uvida u zaslanjivanje obalnog vodonosnika.

Za potrebe kalibracije modela mjerenja korigirati na način: mjerenja sondom (profiliranje) provoditi sa finijom prostornom rezolucijom, postaviti multiparametrasku sondu u pijezometar D1, sondu u pijezometru P1 podignuti na manju dubinu kako bi bila bliže području osciliranja slanog klina. Po mogućnosti postaviti više sondi po visini u pijezometru P1 kako bi se što bolje profilirao slani klin.

Kada je u pitanju geologija, s obzirom na izvore, ukazuje se potreba za primjenom suvremenih tehnologija s ciljem uklanjanja nepouzdanosti procjene hidroegeoloških parametara vodonosnika utvrđenih prethodnim istražnim radovima.

7. LITERATURA

[1] A. Vallejos, F. Sola, A. Pulido-Bosch, Processes Influencing Groundwater Level and Freshwater-Saltwater Interface in a Coastal Aquifer, Water Resour Manage (2015) 29:679-697, 2014.

[2] B. Todorović, Delta Neretve – od močvare do intenzivne poljoprivrede, Geografija.hr, 2005.

[3] B. Vrdoljak, Vjerojatnost i statistika / interna skripta, GAF Split, 2010.

[4] Chuang Mo-Hsiung, Yeh Hund-Der, A generalized solution for groundwater head fluctuation in a tidal leaky aquifer system, 2011

[5] Geofizika – Zagreb, Vodoistražni radovi Opuzen – Modrič, 1966.

[6] Geofizika – Zagreb, Vodoistražni radovi Opuzen – Vidrice, 1966.

[7] Građevinski fakultet Split, Studija: Vodnogospodarsko rješenje i uređenje sliva Donje Neretve - knjiga 2: Podloge i podaci, 1996.

[8] Hrvatske vode, Rad crpne stanice Modrič za 2015. i 2016. godinu

[9] Hrvatske vode, Rad crpne stanice Prag (Vidrice) za 2015. i 2016. godinu.

[10] https://hr.wikipedia.org/wiki/Linearna_regresija

[11] https://hr.wikipedia.org/wiki/Korelacija

[12] https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-correlation

[13] IGH d.d., SUO PILOT PROJEKTA NAVODNJAVANJA DONJE NERETVE, 2010.

[14] L. Dong, J. Chen, C. Fu, H. Jiang, Analysis of groundwater-level fluctuation in a coastal confined aquifer induced bysea-level variation, Hydrogeology Journal (2012) 20: 719-726, 2012.

[15] Madan K. Jha, Deldan Namgial, Y. Kamii, Stefan Peiffer, Hydraulic Parameters of Coastal Aquifer Systems by Direct Methods and an Extended Tide-Aquifer Interaction Technique, Water Resour Manage (2008) 22:1899-1923, 2008.

[16] Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Monitoring zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve / Petogodišnje izvješće, 2014.

[17] Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Monitoring zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve / Izvješće za 2014. godinu, 2014.

[18] Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Monitoring zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve / Izvješće za 2014. godinu, 2015.

[19] Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Monitoring zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve / Izvješće za 2015. godinu, 2016.

[20] Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Monitoring zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve / Izvješće za 2016. godinu, 2017

[21] Xia Yuqiang, Li Hailong, The Estimation of Aquifer Parameters Using Tidal Effect in a Coastal Aquifer: A Case Study in Beihai Peninsula, Earth Science Frontiers, 2009, 16(6): 276–281.