

Analiza hidroloških veza između oborina na postajama Muć i Dicmo i otjecanja na izvoru Jadra

Lučin, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:123:916780>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Lučin

Split, 2016.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Ivan Lučin

**Analiza hidroloških veza između oborina
na postajama Muć i Dicmo i otjecanja na
izvoru Jadra**

Diplomski rad

Split, 2016.

Analiza hidroloških veza između oborina na postaja Muć i Dicmo i otjecanja na izvoru Jadra

Sažetak:

Područje istraživanja je sliv rijeke Jadro. Korišteni su podaci o oborinama s hidroloških postaja Muć i Dicmo i otjecanje s krškog izvora Jadra. U radu su prikazane osnovne hidrološke karakteristike izvora Jadra, napravljena je hidrološka analiza na godišnjoj, mjesečnoj i dnevnoj bazi za izvor i obje oborinske postaje, regresijska analiza, kros – korelacijska analiza i transfer funkcije brze komponente otjecanja. Dobiveni rezultati ukazuju na hidrološku vezu između dviju oborinskih postaja i protoka na izvoru Jadra.

Ključne riječi:

hidrologija krša, izvor Jadra, oborine, protoci, hidrološka analiza, regresija, kros-korelacija, transfer funkcije.

Analysis of the hydrological relations between precipitation from the hydrological stations Muć and Dicmo and discharge from the karst spring Jadro

Abstract:

Domain of exploration was a basin of river Jadro. Data of precipitation and discharge were taken from two hydrological stations Muć and Dicmo and karst spring Jadro. In this study the basic hydrological characteristic of the spring Jadro are given, hydrologic analysis on annual, monthly and daily basis are made for spring and booth hydrological stations, as well as regression, cross-

Keywords:

karst hydrology, Jadro spring, rainfall, water flow, hydrological analysis, regression, cross-correlation, transfer functions

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Ivan Lučin

BROJ INDEKSA: 560/2014

KATEDRA: **Katedra za hidrologiju**

PREDMET: Hidrologija krša

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza hidroloških veza između oborina na postajama Muć i Dicmo i otjecanja na izvoru
Jadra

Opis zadatka: Na osnovu dnevnih podataka o protoku vode na izvoru Jadra, te oborinama na postajama Muć, i Dicmo za razdoblje 1995.-2014.g. potrebno je analizirati veze između oborina i otjecanja i to redom: analizu godišnjih oborina na postajama (vrijednosti statističkih karakteristika, hod godišnjih oborina s ucrtanim trendovima); analizu godišnjih količina istjecanja na izvoru (vrijednosti statističkih karakteristika, hod srednjih godišnjih protoka s ucrtanim trendovima); analizu mjesečnih oborina na postajama (statističke karakteristike za pojedine mjesece i godine, hod mjesečnih oborina); analizu mjesečnih količina istjecanja na izvoru (statističke karakteristike po pojedinim mjesecima i godinama, hod srednjih mjesečnih protoka); analizu dnevnih količina oborina na postajama (vrijednosti statističkih karakteristika za pojedine mjesece i godine, hod dnevnih oborina); analizu dnevnih količina istjecanja na izvoru (statističke karakteristike za pojedine mjesece i godine, hod dnevnih protoka); regresijsku analizu (linearne regresije između: dnevnih oborina i srednjih dnevnih protoka, mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka, godišnjih oborina i srednjih godišnjih protoka); kros-korelacijsku analizu (kros-korelacijske funkcije između dnevnih oborina na postajama i protoka na izvoru); transfer funkcije brze komponente otjecanja.

Sadržaj:

1. OPĆENITO	6
1.1. Općenito o kršu	6
1.2. Osnovne karakteristike sliva, te vodoprivredni značaj rijeke Jadro	9
2. MATEMATIČKA OSNOVA PROVEDENIH ANALIZA	12
2.1. Hidrogram otjecanja	12
2.2. Histogram učestalosti.....	14
2.3. Linearna regresija	15
2.4. Kros - korelacija.....	16
2.5. Transfer funkcije.....	18
2.6. Osnovni statistički parametri	21
3. ANALIZA GODIŠNJIH OBORINA	24
3.1. Analiza godišnjih oborina na postajama Muć i Dicmo.....	24
4. ANALIZA GODIŠNJIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORU JADRA.....	29
5. ANALIZA MJESEČNIH OBORINA	31
5.1. Analiza mjesečnih oborina na postajama Muć i Dicmo	31
6. ANALIZA MJESEČNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORU JADRA	37
7. ANALIZA DNEVNIH OBORINA	40
7.1. Analiza dnevnih oborina na postajama Muć i Dicmo.....	40
8. ANALIZA DNEVNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORU JADRA	44
9. REGRESIJSKA ANALIZA	48
9.1. Linearna regresija Muć – Jadro i Dicmo – Jadro.....	48
10. KROS – KORELACIJSKA ANALIZA	63
11. TRANSFER FUNKCIJE BRZE KOMPONENTE OTJECANJA.....	66
12. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA I ZAKLJUČAK O HIDROLOŠKIM VEZAMA	69
13. LITERATURA	71

1. OPĆENITO

1.1. Općenito o kršu

Pojam krš se odnosi na terene osobitih geomorfoloških, geoloških i hidrogeoloških oblika i svojstava. Krš predstavlja područje sastavljeno od posebnog površinskog i podzemnog reljefa i površinsko-podzemne hidrografske mreže koja je nastala kao rezultat cirkulacije vode te njenog agresivnog kemijskog i fizičkog djelovanja na prslina, pukotine i šupljine u slojevima topivih stijena kao što su vapnenac, kreda, dolomiti, gips i sol. Za njegov značajni razvitak nužna su tri preduvjeta. Prvi preduvjet je postojanje stijena podložnih kemijskoj razgradnji pod utjecajem vode. Drugi preduvjet je mehanička oštećenost (razlomljenost) stijenke mase odnosno postojanje pukotina i prslina u koje može prodrijeti voda. Treći preduvjet su klimatski uvjeti s relativno velikom količinom oborina (krški oblici ne razvijaju se u područjima s manje od 250 - 300 mm/god oborina. Maksimalno okršavanje se događa u područjima s velikom količinom oborina i područjima gdje se sezonski izmjenjuju izrazito vlažna i sušna razdoblja). Ako su ti preduvjeti ispunjeni dolazi do procesa okršavanja. Rezultat tog procesa je nastajanje različitih krških oblika i pojava na površini terena i u podzemlju.

Krš je specifičan reljef koji se razvija samo u topivim stijenama. Pod pojmom krša obično podrazumijevamo područja čiji je razvoj uglavnom vezan za karbonatne stijene, vapnence i dolomite. [1]

Osnovna karakteristika krške hidrografske mreže je slabo razvijena mreža, tj. malo je vode na površini (krški tereni često su bezvodni), ali mnogo u podzemlju. Tekućice su u pravilu kratke ponornice. Mnogo vode teče kroz podzemlje gdje otapa stijene.



Slika 1.1. *Primjer krškog oblika, kanjon rijeke Cetine [16]*

Krška vrela (izvori) su točke gdje voda prirodnim putem izlazi iz krškog vodonosnika. Izviranje iz krškog izvora može se odvijati iz pukotine čija veličina u promjeru može varirati od nekoliko centimetara do više desetaka metara. Voda može istjecati uslijed gravitacije ili izvirati pod tlakom. Otvori kroz koje voda izvire mogu biti vidljivi ili nevidljivi, što je slučaj ako su prekriveni nekonsolidiranim nanosom ili su potopljene ispod površine jezera ili vodotoka. [9]

Unutar jednog sustava mogu tijekom različitih uvjeta tečenja biti aktivne različite točke izviranja. Krški izvor može se javiti na razini lokalnog ili regionalnog baznog toka na točki gdje se površina terena usijeca ispod vodnog lica ili podzemnog kanala ispunjenog vodom. Nepropusne stijene u podlozi mogu biti uzrok izviranju na kontaktu krškog vodonosnika i temeljne stijene. Izvori su obično smješteni ili na dnu dolina ili u podnožju strmih padina. Na slici 1.1. može se vidjeti jedan od primjera krških oblika, kanjon rijeke, koji je ujedno i nastavak toka rijeke, a ona svoj izvor ima u selu Cetina, koje se nalazi u podnožju planine Dinare.

Krški izvori mogu se pojaviti na svakoj točki gdje nepropusne stijene ili strukturne forme, kao npr. rasjedi, prekidaju tečenje podzemne vode i tako ograničavaju nastajanje podzemnih kanala u topivoj stijeni. Krški izvori mogu nastati i visoko duž bokova dolina, bez vidljivih topografskih ili geoloških uzroka.

Općenito krški izvor je glavna točka istjecanja (pražnjenja) krškog bazena s podzemnom vodom. Veliki krški izvor može izvirati iz glavnog podzemnog kanala i predstavlja drenažu sustava podzemnih kanala i pukotina koje konvergiraju prema glavnom kanalu (konvergentni tok) ili može biti jedan od skupine izvora koji djeluju poput delte. U tom slučaju je podzemna voda razdijeljena na više izvora iz sustava više povezanih kanala (razdijeljeni tok). Glavna značajka krških izvora je velika promjenjivost izdašnosti.

Veličina i karakteristike krških izvora jako su vezani za:

- broj
- veličinu
- stupanj povezanosti pora

Mlađi vapnenci koji imaju visoku primarnu poroznost mogu uskladištiti velike količine podzemne vode izvan krških kanala u koje se voda konstantno cijedi održavajući kontinuiranost izvora tijekom sušnih perioda.

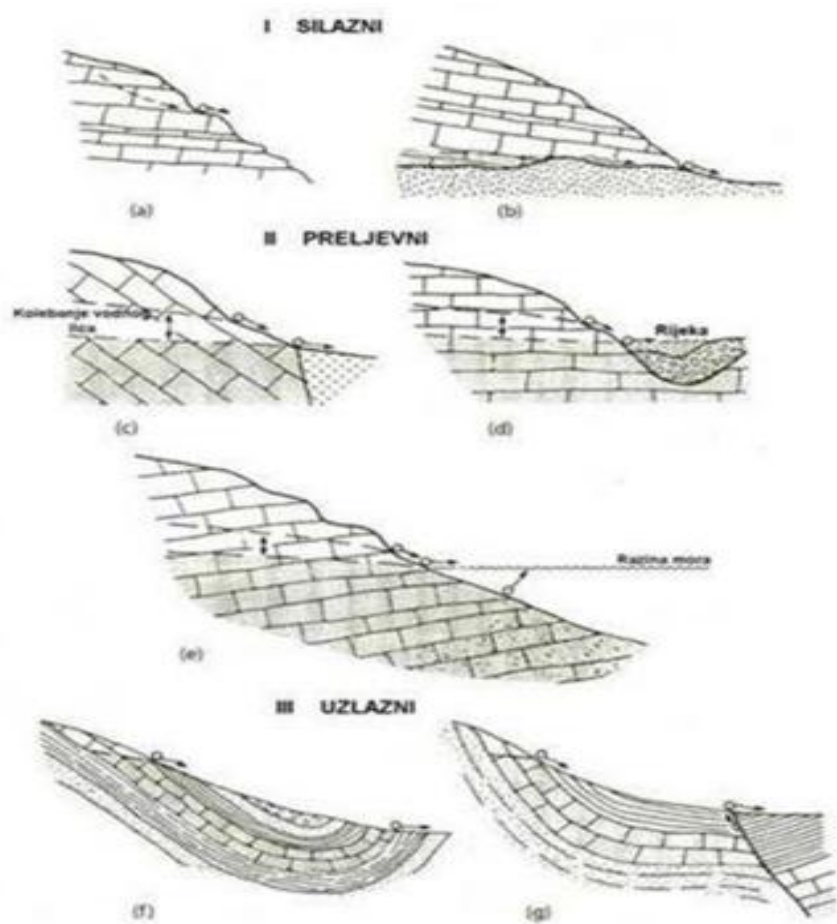
Izvori krških sustava bez visoke primarne poroznosti imaju velike fluktuacije istjecanja. Ova razlika je vidljiva u izdašnosti izvora.

Posljedica samoorganizirane propusnosti (pražnjenje akvifera preko jednog ili nekoliko izvora se vrši slično hijerarhiji otjecanja površinskih voda) krških akvifera je da slivno područje izvora prelazi izvan topografske granice. To je ujedno i glavni razlog zašto su najveći svjetski izvori krški.

Izvori se uobičajeno dijele u dvije glavne grupe prema prirodi akvifera na mjestu pražnjenja:

- gravitacijski izvori se pojavljuju u uvjetima gdje se vodno lice presijeca sa površinom zemlje. Još se nazivaju silazni izvori.
- arteški izvori se prazne pod pritiskom u uvjetima u akviferu. Još se nazivaju uzlazni ili rastući izvori.

Na slici 1.2. su prikazani samo najčešći tipovi krških izvora koji pripadaju jednoj od dvije gore navedenih grupa. Najučestaliji tipovi krških izvora u Dalmaciji su silazni, preljevni i uzlazni. Izvor Jadra ubrajamo u silazne izvore. [9]



Slika 1.2. Najčešći tipovi krških izvora [4]

1.2. Osnovne karakteristike sliva, te vodoprivredni značaj rijeke **Jadro**

Cijeli sliv rijeke Jadro predstavlja jedan morfološki fenomen a ujedno kulturno i arheološko nasljeđe ljudi što obitavaju na tom prostoru.

Sama rijeka je vrlo kratka, otprilike ima tok duljine 4.5 km, što je zapravo i jedna od glavnih karakteristika krških rijeka. Glavni značaj Jadra da opskrbljuje pitkom vodom otprilike pola milijuna stanovnika (Split, Kaštela, Trogir i Solin). Zbog njenog značaja i događaja iz hrvatske povijesti, ponekad se naziva i hrvatskim Jordanom.



Slika 1.3. Izvor rijeke Jadro [9]

Jadro je krška rijeka koja izvire u podnožju jugozapadnih padina Mosora na visini od oko 35,0 m n.m. Na slici 1.3. može se vidjeti snaga rijeke na samom izvoru. Tu se također nalazi i zahvat koji odvodi pitku vodu u vodovod te prosljeđuje korisnicima. Ukupna dužina toka prolazi područjem grada Solina. Prvih 500 m korita ima relativno velik pad te se potom rijeka s blagim padom na istočnom rubu Kaštelanskog zaljeva uljeva u Jadransko more. U samom središtu Solina račva se na glavno korito i više rukavaca koji se prije ušća u more opet spajaju u zajedničko korito.

Najveći dio ove rijeke je reguliran, ali još uvijek ne u potpunosti. Srednja širina korita iznosi otprilike 20 m uz maksimalnu dubinu 1,5-2 m. Topografski sliv izvora Jadra iznosi 22 km², dok hidrološki sliv Jadra iznosi preko 400 km². [8]

Voda iz izvora koja protječe koritom rijeke Jadro pruža ključnu podršku održivom ekološkom i društvenom razvoju cijeloga područja kroz koje protječe. Osobito je važna za grad Solin, a nipošto se ne smije zanemariti ekološka uloga slatkih voda rijeke Jadra u održivom razvoju osjetljivog ekosustava Kaštelanskog zaljeva. Prema pokazateljima kakvoće voda Jadro pripada prvoj kategoriji na cijelom toku od izvora do vodnih pragova nizvodno od središnjega dijela grada Solina. Nizvodni dio rijeke, koji je pod utjecajem

mora, i ušće pripadaju drugoj kategoriji voda. Slika 1.4. prikazuje mirniji tok rije Jadro. Iako u nekim slučajevima tok iz mirnog prelazi u turbulentni, ipak većina toka rijeke se nalazi u mirnom dijelu režima toka.



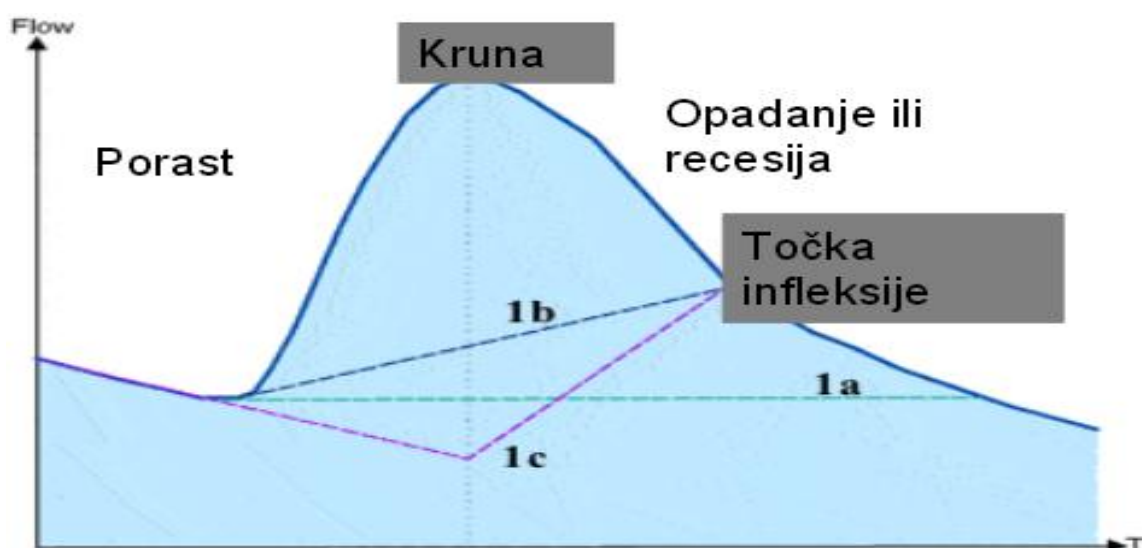
Slika 1.4. Tok rijeke Jadro [17]

Iz hidroloških karakteristika izvora Jadra, koje su obrađene u nastavku ovoga rada, vidi se da se protok ne mijenja drastično na godišnjoj razini analiziranog razdoblja (9,5 – 12,5 m³/s). Jednako tako, vidi se da se protok smanjuje u ljetnim mjesecima, a povećava u jesenskim i zimskim. Također, vrlo važno je napomenuti da je protok jako ovisan o oborinama. [10]

2. MATEMATIČKA OSNOVA PROVEDENIH ANALIZA

2.1. Hidrogram otjecanja

Hidrogram otjecanja (izvora, vodotoka...) je prikaz protoka u funkciji vremena. Analizirajući hidrogram može se zapaziti da se sastoji od svog rastućeg dijela, vršnog dijela (uključuje dio hidrograma od točke infleksije na grani rasta do točke infleksije na opadajućoj grani hidrograma). Vrh hidrograma, što je ujedno i trenutak maksimalnog protoka, javlja se točno u trenutku kada cijela površina sliva sudjeluje u otjecanju i krivulje recesije (slika 2.1.). Krivulja recesije može, a i ne mora doći do 0, što ovisi o veličini podzemnog otjecanja. Oblik hidrograma je uvjetovan fizičko – geografskim te klimatskim čimbenicima promatranog sliva. Hidrogram ukupnog otjecanja se sastoji od 2 dijela: baznog i direktnog otjecanja. Direktno otjecanje nastaje uslijed oborina koje su direktno pale na površinu vodotoka ili terena, a također u formiranju direktnog otjecanja sudjeluje i brzo potpovršinsko otjecanje. Bazno otjecanje obuhvaća komponentu sporog potpovršinskog otjecanja i otjecanje podzemnih voda. Postoje 4 metode za razdvajanje direktnog i baznog otjecanja, ali mi najčešće koristimo najjednostavniju metodu tako da spojimo točke infleksije, spojimo ih pravcem (slika 2.1., pravac 1b). S obzirom da se poznavaju 2 točke na tom pravcu može se znati i njegova jednadžbu. Tada se oduzimaju ukupni protoci na hidrogramu i njihove podudarajuće točke na pravcu. [5]



Slika 2.1. Odvajanje baznog i direktnog otjecanja te prikaz dijelova hidrograma [5]

Analizirajući recesijski dio krivulje treba imati u vidu da u njenom formiranju sudjeluju samo efektivne oborine. Stoga, ako nam je potrebna krivulja recesije za rješavanje određenih problema, prvo treba definirati efektivne oborine.

Krivulje recesije

Iako se također nisu koristile u ovom diplomskom radu, moramo ih spomenuti zbog odvajanja baznog i direktnog otjecanja (u poglavlju 11), tj. za razdvajanje ta 2 otjecanja pomoću točaka infleksije potrebno je razumjevanje krivulja recesije upravo zato što se druga točka infleksije podudara s početkom krivulje recesije.

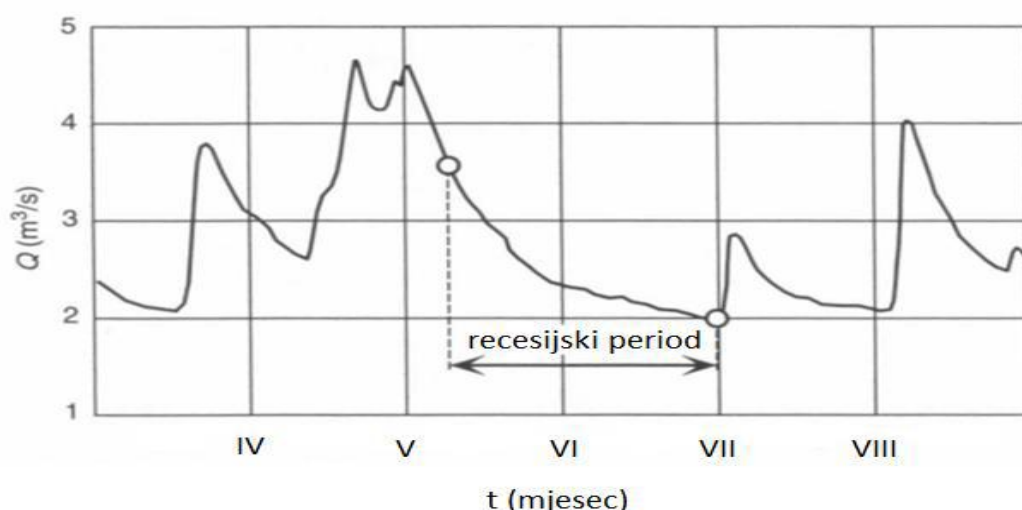
Analiza opadajućeg dijela hidrograma istjecanja koji odgovara bezoborinskom razdoblju zove se analiza recesije. Idealni uvjet za analizu krivulje recesije je bezoborinsko razdoblje u trajanju nekoliko mjeseci što se vrlo rijetko događa. Potrebno je analizirati što više recesijskih krivulja tijekom određenog razdoblja (za svaku godinu pojedinačno). Veći broj krivulja omogućava definiranje zajedničke prosječne recesijske krivulje.

Kao matematička formulacija recesije koristi se Maillet-ova formula:

$$Q(t) = Q_0(t_0) * e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (1)$$

Q_0 – početna točka na krivulji recesije

α – recesijski koeficijent



Slika 2.2. Primjer recesijskog perioda nekog izvora [15]

Vrijednost koeficijenta α ovisi o hidrogeološkim karakteristikama izvora i vodonosnika te o njihovoj geometriji. Ako krivulju recesije prikažemo u polu- logaritamskom mjerilu, tada je krivulja pravac, a recesijski koeficijent α je nagib pravca. Analitički oblik recesijske krivulje se koristi za procjenu rezerve vode pri $Q_{\min}$ za promatrano razdoblje i procjenu vrijednosti protoka u slučaju ekstremne suše. Tako je na slici 2.2. prikazan primjer recesijskog perioda izvora. Može se primjetiti kako se u vrijeme recesijskog perioda protok drastično spušta, a na kraju perioda ponovno počinje rasti, što je potpuno logično, jer za vrijeme recesijskog perioda nema oborina. [7]

Efektivne oborine su ništa drugo nego ukupne oborine pale na sliv oduzete za gubitke. Pod gubicima smatramo: evaporaciju, evapotranspiraciju, zadržavanja i zapunjavanje depresija. Kada govorimo o hidrogramu otjecanja potrebno je definirati također i koeficijent otjecanja:

$$C = \frac{Pe}{P} \quad (2)$$

gdje je: C – koeficijent otjecanja, Pe – efektivna oborina, P – ukupna oborina

2.2. Histogram učestalosti

Histogram je alat koji pomaže da se brzo uoči tip raspodjele za uzorke koji sadrže veliki broj podataka. Konkretno, u našem slučaju je riječ o protocima. Histogram učestalosti je ništa drugo nego broj ponavljanja neke diskretne varijable u određenom vremenskom razdoblju. Za izraditi histogram je potrebno je: izračunavanje raspona „populacije“, određivanje intervala razreda, izrada tablice učestalosti, određivanje granica razreda, određivanje učestalosti prebrojavanjem uzorka. Na osnovu ovih podataka crta se histogram. Na osnovu izgleda histograma donose se zaključci o statističkoj prirodi populacije. Histogrami imaju primjenu u građevinarstvu npr. pri izradi dinamičkih planova, angažiranja radne snage, kod upravljanja financijama, u hidrotehnici...[11]

Konkretno, u ovome radu se histogram koristio za izračun modusa, zbog toga što za poznavanje te statističke karakteristike, je prvo bilo potrebno podijeliti oborine i protoke (ovisno za što računamo modus) u razrede te izračunati njihovu učestalost, a upravo je histogram najjednostavnije i najbolje rješenje za navedeni problem.

2.3. Linearna regresija

Regresijska analiza uključuje pronalaženje funkcionalne veze između varijabli u svrhu predviđanja. Klasična metoda je parametarska regresija, koja zahtjeva definiranje vrste funkcije regresije i njenih parametara. Uobičajena funkcija je linearna funkcija, uz određivanje parametara metodom najmanjih kvadrata.

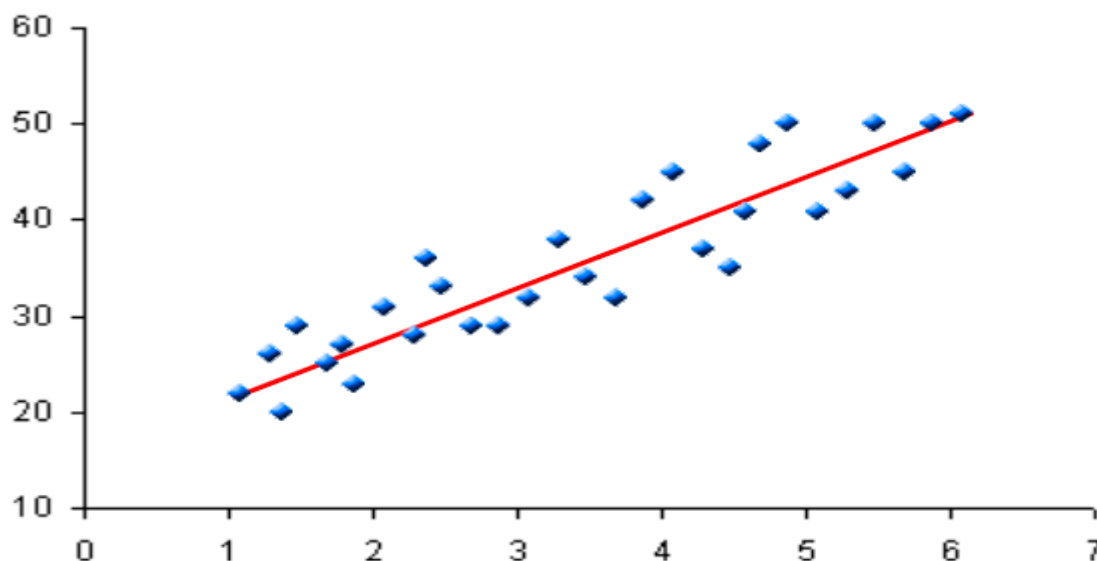
U statistici, linearna regresija se odnosi na svaki pristup modeliranju relacija između jedne ili više varijabli označene sa Y , te jedne ili više varijabli označene sa X , na način da takav model linearno ovisi o nepoznatim parametrima iz podataka. Najčešće se linearna regresija odnosi na model u kojem je uvjetna srednja vrijednost od Y , uz danu vrijednost X , afina funkcija od X .

Općeniti računski problem koji se rješava kod linearne regresije je prilagođavanje ravne linije podacima na dijagramu rasprostiranja. Ta linija se naziva linija regresije ili linija najmanjih kvadrata, jer se određuje tako da suma kvadratnih udaljenosti svih podataka od linije je najmanja moguća.

U 2-D prostoru, odnosno prostoru dvije varijable, linija regresije se definira jednadžbom:

$$y = \alpha + \beta * x_i \quad (3)$$

Varijabla y se izražava u smislu konstante i nagiba u odnosu na varijablu x . Konstanta predstavlja sjecište linije regresije sa osi y , a konstanta je koeficijent regresije. Na slici 2.3. je prikazan općeniti primjer linearne regresije. Plavim točkama su prikazani poznati podatci, dok crvena crta predstavlja najbolju moguću aproksimaciju tih podataka jednadžbom. [7]



Slika 2.3. Linearna regresija [12]

U poglavlju 9 je provedena analiza koja je koristila linearnu regresiju kao glavnu „podlogu“ za provedeni postupak, te su uspostavljene veze između dnevnih, mjesečnih i godišnjih oborina na dvije postaje te protoka na izvoru Jadra, a sve u cilju kako bi bilo utvrđeno je li postoji ovisnost među oborinama i protocima te kakva je ona.

2.4. Kros - korelacija

Da bi objasnili kros korelaciju prvu moramo objasniti „običnu“ korelaciju i sve pojmove koje se dovode s njom u vezu.

Korelacija predstavlja suodnos ili međusobnu povezanost između različitih pojava predstavljenih vrijednostima dvaju varijabli. Pri tome povezanost znači da je vrijednost jedne varijable moguće s određenom vjerojatnošću predvidjeti na osnovi saznanja o vrijednosti druge varijable. Promjena vrijednosti jedne varijable utječe na promjenu vrijednosti druge varijable. Varijabla koja svojom vrijednošću utječe na drugu varijablu zove se nezavisna varijabla, a ona na koju se utječe zove se zavisna varijabla (u ovome radu je ta veza analizirana između oborina i protoka, te se analizom pokušalo utvrditi kako jedna varijabla utječe na drugu i obratno). Mogući su slučajevi da dvije varijable istovremeno utječu jedna na drugu, pa su u tom slučaju obje varijable istovremeno i ovisne i neovisne. [9]

Nadalje je potrebno objasniti pojmove varijance i kovarijance radi što boljeg shvaćanja problema.

Varijanca je prosječno kvadratno odstupanje od prosjeka, a definira se formulom:

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} \quad (4)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$; $\bar{x}$ - srednja vrijednost uzorka

Kovarijanca za razliku od varijance nam pokazuje koliko se dvije varijable mijenjaju zajedno, odnosno njihovu međusobnu zavisnost. To je glavna razlika kovarijance i varijance.

Kovarijanca postaje sve više pozitivnom za svaki par vrijednosti koji se razlikuje od njihovih srednjih vrijednosti u istom smjeru (zajedničkom pozitivnom ili negativnom odstupanju od svojih aritmetičkih sredina), te postaje više negativna za svaki par vrijednosti koji se razlikuje od njihovih srednjih vrijednosti u suprotnim smjerovima.

Za skup od n mjerenja dviju varijabli (x_i, y_i) kovarijanca se računa iz izraza:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}) \quad (5)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$; $\bar{x}$ i $\bar{y}$ – srednje vrijednosti x i y varijabli

Koeficijent korelacije R nam je važan zbog toga što se pomoću njega ocjenjuje zavisnost među varijablama, a njegova vrijednost se kreće od -1 do +1.

Matematički izraz za izračun koeficijenta korelacije je:

$$R = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma(x) * \sigma(y)} \quad (6)$$

$\text{cov}(x, y)$ – kovarijanca dviju varijabli $\sigma(x)$ i $\sigma(y)$ – standardna devijacija varijabli x i y

Kros – korelacija je vrsta korelacije koja ima za cilj promatranje povezanosti jedne vremenske serije s drugom, koja je pomaknuta u vremenu. S obzirom da je ovo jedna podvrsta korelacije, povezanost dviju serija također se mjeri koeficijentom u ovom slučaju kros – korelacije, a njegova vrijednost se također kreće na intervalu $[-1, +1]$.

Formula za proračun kros – korelacijske funkcije:

$$R(k) = \frac{\text{cov}(x_i, y_{i+k})}{\sqrt{\sigma^2(x) \cdot \sigma^2(y)}} \quad (7)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ $\text{cov}(x_i, y_{i+k})$ – kovarijanca u x_i i y_{i+k} gdje je k vremenski korak

$\sigma^2(x)$ i $\sigma^2(y)$ – varijanca varijabli x i y

U poglavlju 10 je obrađena kros – korelacija između srednjih dnevnih protoka na izvoru Jadra te dnevnih oborina na postajama Muć i Dicmo. Pokušalo se utvrditi kakva je veza protoka u odnosu na oborine, te oborine u odnosu na protok (koja je varijabla zavisna, a koja nezavisna).

2.5. Transfer funkcije

Transfer funkcija uspostavlja matematičku vezu između oborina na nekoj postaji i otjecanja na krškom izvoru, dok se jedinični hidrogrami obično traže za cijeli sliv te su ulazna veličina srednje efektivne oborine na slivu.

Matematička osnova im je ista kao i kod jediničnog hidrograma s tim da se radi s oborinama na jednoj postaji, te se radi jednostavnosti mogu koristiti i ukupne oborine jer se na ovaj način analiziraju veze između oborina na postaji i otjecanja.

Jedinični hidrogram je definiran kao hidrogram površinskog otjecanja od efektivne kiše visine 1mm (ili 1cm), a čije je trajanje T – vrijeme (polusatni, satni, dnevni...).

Treba imati u vidu, da kada govorimo o trajanju jediničnog hidrograma, to trajanje se odnosi na trajanje efektivne kiše, a ne, što je česta pogreška, na trajanje površinskog otjecanja vode.

Jedinični hidrogram možemo konstruirati za bilo koji sliv i bilo koje vrijeme T , pod uvjetom da je $T < T_c$, gdje T_c predstavlja vrijeme koncentracije sliva, što je zapravo vrijeme potrebno najudaljenijoj točki sliva, da sa istoga otekne. [7]

Ordinata jediničnog hidrograma koja je izazvala kišu trajanja T , u vremenskom trenutku (t) , označava se:

$$u = u(T, t) \quad (8)$$

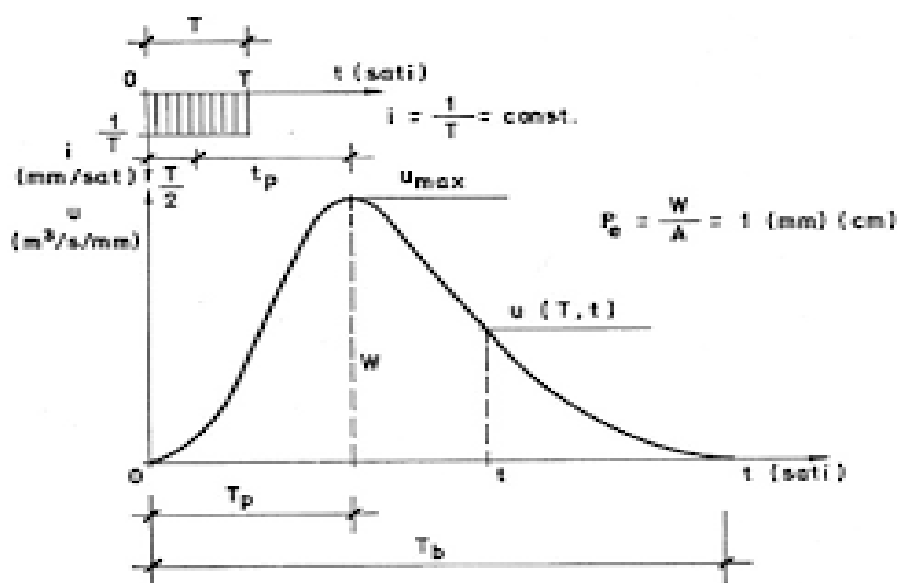
Također, treba primjetiti da kod T – vremenskog jediničnog hidrograma, intenzitet efektivne kiše je konstantan i iznosi:

$$i_e = \frac{1}{T} = \text{const.} \quad (9)$$

Dok visina efektivne kiše, P_e , na cijelome slivu iznosi:

$$P_e = \frac{W}{F_{sl}} = 1 \text{ mm (ili 1 cm)} \quad (10)$$

Kako ne bi morali proučavati odnose u sustavu, koji su često vrlo komplicirani, niti proučavati fizikalne zakone pri tome, mi cijeli sliv možemo tretirati kao sistem, sa jednim ulazom (neto kiša) i jednim izlazom (hidrogram direktnog otjecanja). Upravo jedan od modela kako to možemo napraviti je preko jediničnog hidrograma. Na slici 2.4. je prikazan najjednostavniji jedinični hidrogram sa svim svojim karakteristikama. Može se primjetiti, kao i kod „običnog“ hidrograma, da se i jedinični sastoji od rastućeg, vršnog i recesijskog dijela.

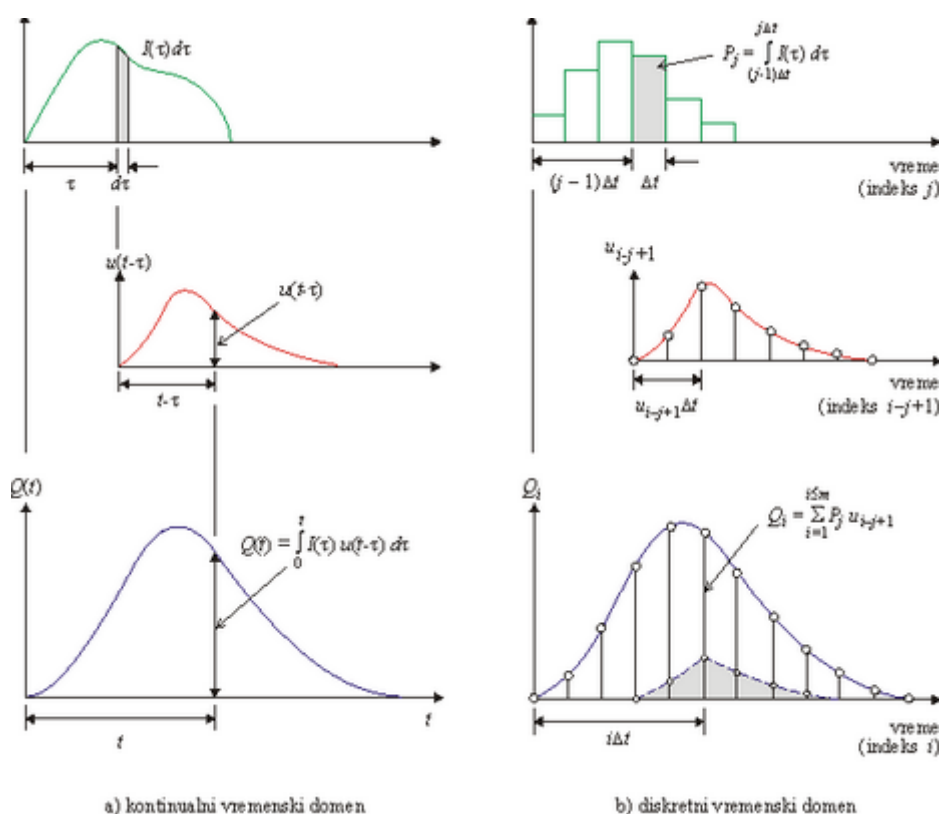


Slika 2.4. Jedinični hidrogram sa svim karakteristikama [14]

Teorija jediničnog hidrograma temelji se na slijedećim pretpostavkama i principima:

- 1) Efektivna kiša je ravnomjerno raspoređena u vremenu tijekom svog trajanja.
- 2) Efektivna kiša je ravnomjerno raspoređena u prostoru po cijeloj površini sliva.

- 3) Na promatranom slivu, kiše istog trajanja proizvode hidrograme otjecanja koji imaju približno jednaku vremensku bazu, neovisno o intenzitetu kiše koja ih je izazvala. Taj princip se zove princip stacionarnosti.
- 4) Za promatrani sliv, veličina ordinata jediničnog hidrograma otjecanja je proporcionalna zapremninama direktnog otjecanja, ako su kiše istog trajanja. Ovaj princip se zove princip superpozicije.
- 5) Na promatranom slivu, raspodjela otjecanja u vremenu, odnosno oblik hidrograma otjecanja, od kiša određenog trajanja, je nezavisna od prethodnih ili budućih kiša.



Slika 2.5. Shematski prikaz jediničnog hidrograma u kontinuiranom i diskretnom vremenu [13]

Dakle, teorija jediničnog hidrograma se bazira na pretpostavci da se sliv ponaša kao jedan linearan i stacionaran sistem, te da su vrlo važni principi proporcionalnosti i superpozicije. To su zapravo fundamentalni principi teorije jediničnog hidrograma. Na slici 2.5. se nalazi prikaz nastanka jediničnog hidrograma kroz 3 koraka, te razlika kada se radi o kontinuiranoj, a kada o diskretnoj vremenskoj domeni.

Kada znamo jedinični hidrogram, možemo također preko njega znati i hidrogram direktnog otjecanja za bilo koju oborinu na slivu, jer jedino što moramo još napraviti, je ništa drugo nego izmnožiti ordinate jediničnog hidrograma s veličinom oborine za koju želimo dobiti hidrogram direktnog otjecanja.

2.6. Osnovni statistički parametri

Srednja vrijednost se računa kao kvocijent zbroja članova i broja članova skupa:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (11)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ N – ukupan broj članova

Modus je vrijednost u promatranom skupu slučajnih varijabli X s najvećom frekvencijom.

U našem slučaju smo podjelili vrijednosti godišnjih oborina u razrede, te smo odredili broj članova u svakom razredu i učestalost svakog razreda.

Sada se modu može izračunati po sljedećoj formuli:

$$M_o = a_{M_o} + \left(\frac{f_{M_o+1}}{(f_{M_o-1}) + (f_{M_o+1})} \right) * b \quad (12)$$

a_{M_o} – donja granica razreda u kojem se nalazi modus

f_{M_o-1} - frekvencija razreda ispod razreda u kojem se nalazi modus

f_{M_o+1} – frekvencija razreda poviše razreda u kojem se nalazi modus

b – širina razreda

Medijan je vrijednost od X (varijabla koju razmatramo, u našem slučaju protoci i oborine) za koju vrijedi da je 50% podataka manje ili jednako toj vrijednosti i 50% je veće ili jednako njoj. Medijan se proračunava na slijedeći način:

$$M_e = I_i + \frac{\left(\frac{N}{2}\right) - \sum f_i}{f_{med}} * i \quad (13)$$

$\left(\frac{N}{2}\right)$ - središnja jedinica niza (određivanje medijalnog razreda)

I_i - donja granica razreda u koje se nalazi medijan

$\sum f_i$ - frekvencija kumulativnog niza prije razreda u kojem se nalazi medijan

f_{med} - frekvencija razreda u kojem se nalazi medijan

i - širina razreda u kojem se nalazi medijan

Standardna devijacija je apsolutna mjera disperzije na promatranom skupu. Ona nam govori, koliko elementi odstupaju od aritmetičke sredine skupa, a zapravo je drugi korijen iz varijance uzorka:

$$s^2 := \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad (14)$$

n - broj članova uzorka

$\bar{x}$ - srednja vrijednost uzorka

Koeficijent varijacije je relativna mjera disperzije izražena u %. Veći koeficijent varijacije pokazuje veću raspršenost, odnosno manju reprezentativnost aritmetičke sredine. Koeficijent varijacije može u iznimnim slučajevima prijeći i 100% kada se radi o vrlo heterogenom nizu:

$$V = \sigma / \bar{x} \cdot 100 \quad (15)$$

σ – standardna devijacija $\bar{x}$ - srednja vrijednost uzorka

Gornji kvartil je vrijednost numeričkog obilježja za koju vrijedi da je 75% (3N/4) jedinica u nizu ima vrijednost numeričkog obilježja jednaku ili manju od gornjeg kvartila i 25% (N/4) jedinica s obilježjem jednakim ili većim od gornjeg kvartila.

Donji kvartil predstavlja broj od kojega je 25% podataka manje ili jednako njemu.

N – *ti moment „oko sredine“* (μ_k) predstavlja aritmetičku sredinu odstupanja vrijednosti numeričkog obilježja od aritmetičke sredine podignutih na n – tu potenciju:

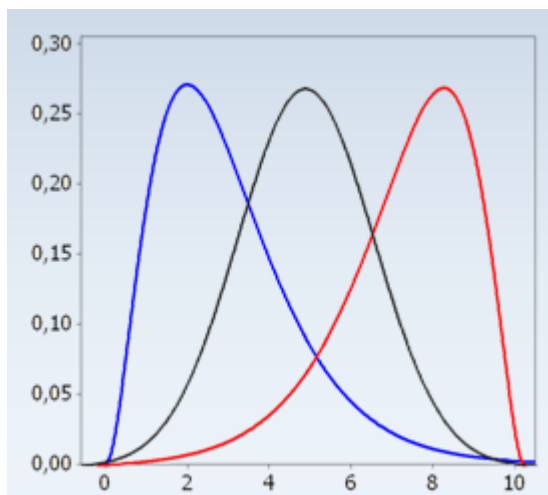
$$\mu_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^k \quad (16)$$

Koeficijent asimetrije je mjera nagnutosti distribucije na lijevu ili desnu stranu:

$$\alpha_3 = \frac{M_3}{\sigma^3} \quad (17)$$

M_3 – treći moment „oko sredine“

σ^3 – standardna devijacija podignuta na treću potenciju



Slika 2.6. *Primjer pozitivne (plava), negativne (crvena) i slučaja kada nema asimetrije (crna) [18]*

Na slici 2.6. vidi se kako distribucija izgleda kada je koeficijent asimetrije pozitivan (distribucija nagnuta u lijevo), a kako kada je negativan (distribucija nagnuta u desno). U slučaju kada je koeficijent asimetrije 0, govorimo o potpunoj simetriji.

Koeficijent spljoštenosti je mjera zaobljenosti distribucije:

$$\alpha_4 = \frac{M_4}{\sigma^4} \quad (18)$$

M_4 – četvrti moment „oko sredine“

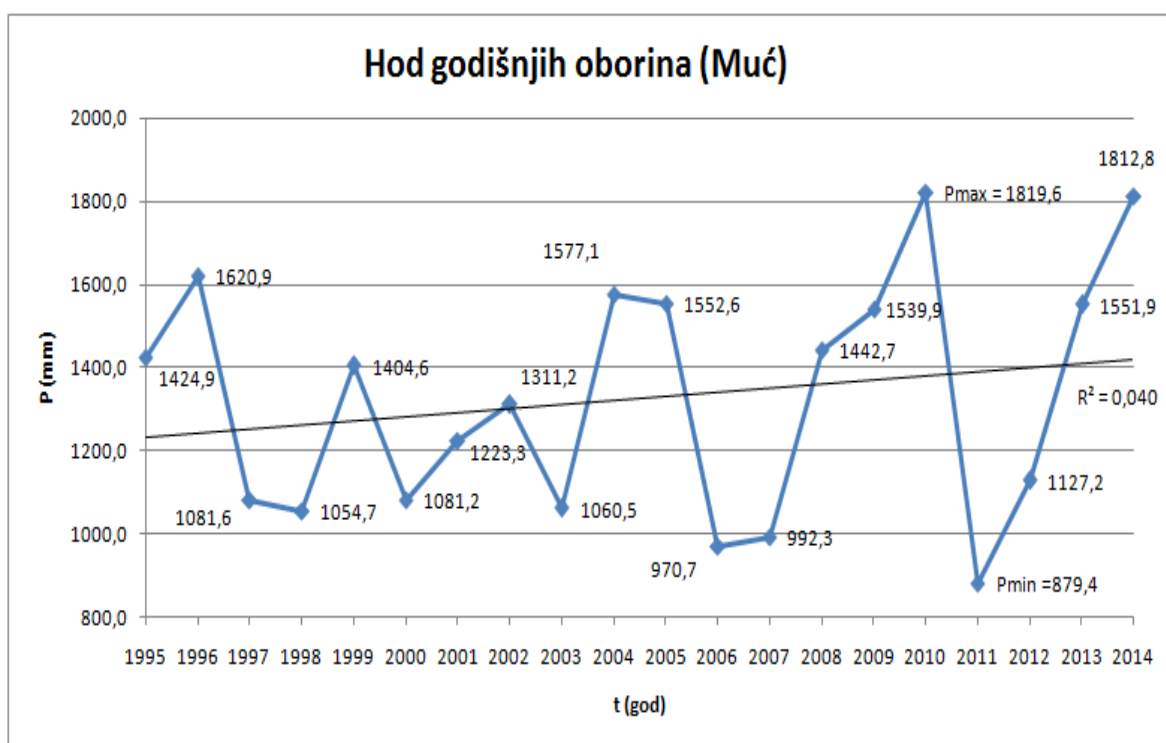
σ^4 – standardna devijacija podignuta na četvrtu potenciju

3. ANALIZA GODIŠNJIH OBORINA

3.1. Analiza godišnjih oborina na postajama Muć i Dicmo

Kod analize godišnjih oborina prvo je bilo potrebno sumirati oborine po godinama za vremenski interval 1995. -2014. Analizu potom vršimo grafičkim prikazom hoda godišnjih oborina koji je vidljiv na slikama 3.1. i 3.3.

Na postaji Muć, najmanja količina oborina zabilježena je 2011. i iznosila je 879,4 mm, a najveća količina oborina 2010. i iznosila je 1819,6 mm. Amplituda promatranog razdoblja, odnosno razlika između godine sa najvećom i najmanjom kišom iznosi 940,2 mm. Još se može uočiti da postoji linearni trend, ali statistički nije značajan, zbog toga što je vrijednost samog trenda vrlo mala, $R^2 = 0,04$.



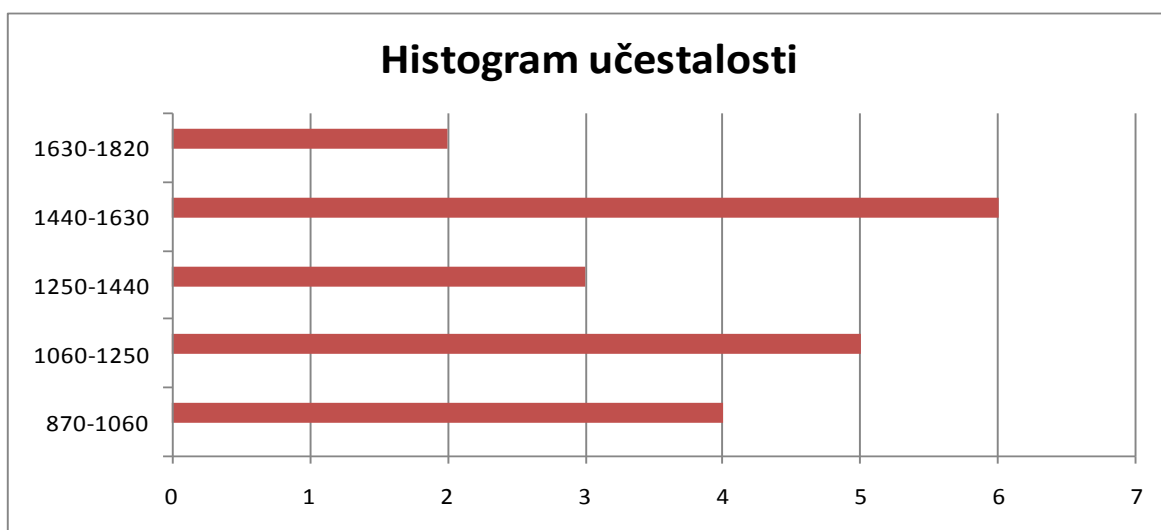
Slika 3.1 Hod godišnjih oborina na oborinskoj postaji Muć za razdoblje 1995.–2014.

U tablici 3.1. prikazane su vrijednosti 13 različitih statističkih karakteristika oborina na postaji Muć.

Tablica 3.1. *Vrijednosti statističkih karakteristika na postaji Muć za razdoblje 1995. - 2014.*

VRIJEDNOSTI STATISTIČKIH KARAKTERISTIKA NIZA GODIŠNJIH OBORINA (MUĆ)		
r.br.	NAZIV I OZNAKA STATISTIČKE KARAKTERISTIKE	BROJČANI IZNOS
1	BROJ ČLANOVA UZORKA N	20
2	SREDNJA VRIJEDNOST	1326,5
3	MOD	1521,428571
4	MEDIJAN	1357,9
5	STANDARDNA DEVIJACIJA	279,2331794
6	KOEFICIJENT VARIJACIJE	0,210510857
7	MINIMUM	879,4
8	MAKSIMUM	1819,6
9	RANG	940,2
10	GORNJI KVARTIL	1552,075
11	DONJI KVARTIL	1076,025
12	KOEFICIJENT ASIMETRIJE	0,156634929
13	KOEFICIJENT SPLJOŠTENOSTI	-1,159269464

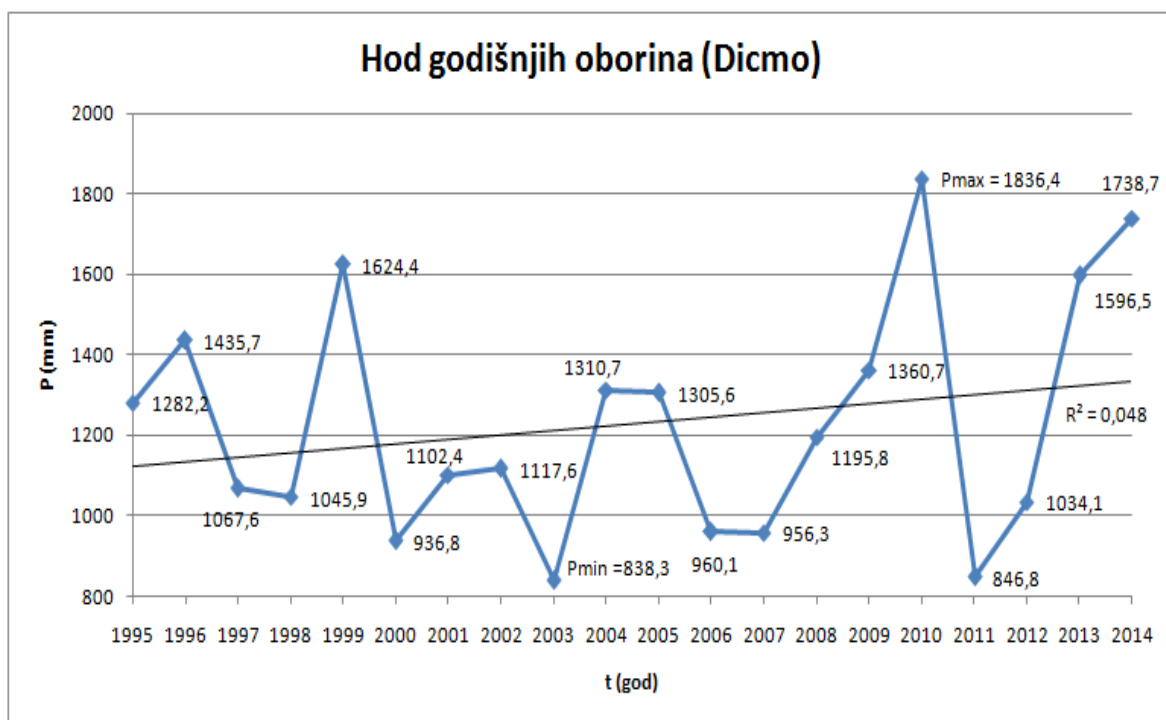
Potom smo na temelju podataka o širini razreda i broju članova u svakom razredu nacrtali histogram učestalosti te iz njega odredili razred s najvećom učestalošću iz kojeg ćemo računati modus:



Slika 3.2. *Histogram učestalosti na oborinskoj postaji Muć za razdoblje 1995. – 2014.*

Kao i kod oborinske postaje Muć i na Dicmu je bilo potrebno prvo sumirati sve oborine po godinama za vremensko razdoblje 1995. – 2014. Iz slike 3.3. je vidljivo da je najmanja zabilježena količina oborina bila 2003. godine, a iznosila je 838,3 mm. Najveća godišnja

količina oborina je zabilježena 2010. godine i njena vrijednost je 1836,4 mm. Amplituda promatranog razdoblja, odnosno razlika između najveće i najmanje količine oborina iznosila je 998,1 mm. Linearni trend postoji i iznosi $R^2 = 0,048$, a s obzirom da je njegova vrijednost vrlo mala, takav trend je statistički zanemariv.



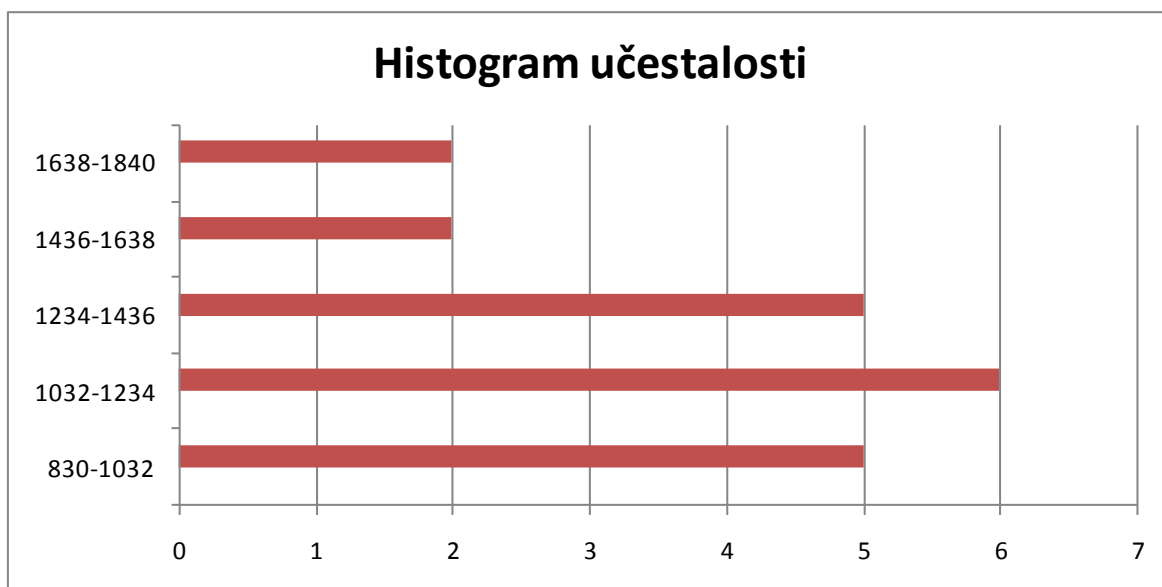
Slika 3.3. Hod godišnjih oborina na oborinskoj postaji Dicmo za razdoblje 1995. – 2014.

Nadalje, u tablici 3.2. su prikazane vrijednosti statističkih karakteristika za navedeno razdoblje, a saznanja o navedenim vrijednostima mogu nam poslužiti za neke detaljnije analize, npr. crtanje različitih krivulja raspodjela.

Tablica 3.2. *Vrijednosti statističkih karakteristika na oborinskoj postaji Dicmo za razdoblje 1995. -2014.*

VRIJEDNOSTI STATISTIČKIH KARAKTERISTIKA NIZA GODIŠNJIH OBORINA (DICMO)		
r.br.	NAZIV I OZNAKA STATISTIČKE KARAKTERISTIKE	BROJČANI IZNOS
1	BROJ ČLANOVA UZORKA N	20
2	SREDNJA VRIJEDNOST	1229,63
3	MOD	1133
4	MEDIJAN	1156,7
5	STANDARDNA DEVIJACIJA	287,5272858
6	KOEFICIJENT VARIJACIJE	0,233832361
7	MINIMUM	838,3
8	MAKSIMUM	1836,4
9	RANG	998,1
10	GORNJI KVARTIL	1379,45
11	DONJI KVARTIL	1015,6
12	KOEFICIJENT ASIMETRIJE	0,628176929
13	KOEFICIJENT SPLJOŠTENOSTI	-0,54253779

U nastavku crtamo histogram učestalosti na temelju podataka o širini razreda i broja podataka u svakom razredu:



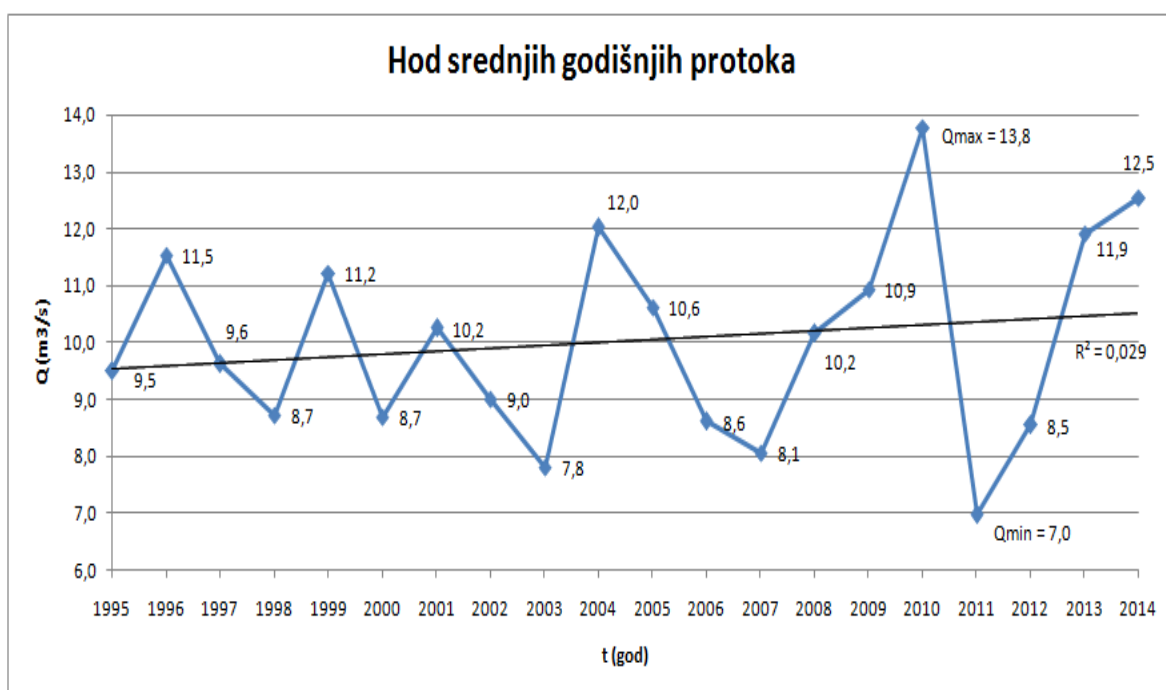
Slika 3.4. *Histogram učestalosti na oborinskoj postaji Dicmo za razdoblje 1995. -2014.*

Dakle, analizom godišnjih oborina na dvije analizirane postaje može se vidjeti da su rezultati vrlo slični u pogledu trendova rasta i pada, te minimuma i maksimuma. Također,

analizirajući statističke karakteristike vidljivo je da su i u tom pogledu rezultati gotovo identični. Posebno bi trebalo obratiti pozornost na standardnu devijaciju, koja se na godišnjoj razini kreće oko vrijednosti 280 mm. Nije toliko važan točan matematički podatak kolika je, nego je puno važnije što je slična na obje postaje, iz čega se može zaključiti da u analiziranom razdoblju nije bilo nikakvih godina u kojoj bi se trebala provesti dosta detaljnija hidrološka analiza, odnosno padaline su bile više manje raspoređene jednako kroz godine. Jednako tako, promatrajući histograme učestalosti (slike 3.2. i 3.4.) te vrijednost modusa za obje postaje, dobivamo još jednu potvrdu o sličnosti rezultata te uskoj povezanosti ove dvije postaje. Također, u pogledu analize linearnih godišnjih trendova, uočava se da su kod obje postaje trendovi vrlo malih vrijednosti, tako da su u statističkom smislu zanemarivi, odnosno ne možemo donijeti nikakav koristan zaključak na temelju njihovih vrijednosti.

4. ANALIZA GODIŠNJIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORU JADRA

Za razliku od analize godišnjih oborina gdje smo podatke obrađivali sumiranjem, analizu hoda srednjih godišnjih protoka smo određivali izračunavanjem srednjih prosječnih godišnjih protoka, te smo ih potom prikazali grafički. Iz slike 4.1. je vidljivo kako je najmanji srednji godišnji protok zabilježen je 2011., a iznosio je $7 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je najveći zabilježeni protok bio 2010., a njegova vrijednost je bila $13,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Amplituda promatranog razdoblja iznosi $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Linearni trend kod analiziranog razdoblja iznosi $R^2 = 0,029$. S obzirom da je njegova vrijednost vrlo mala, smatra se statistički zanemarivim.



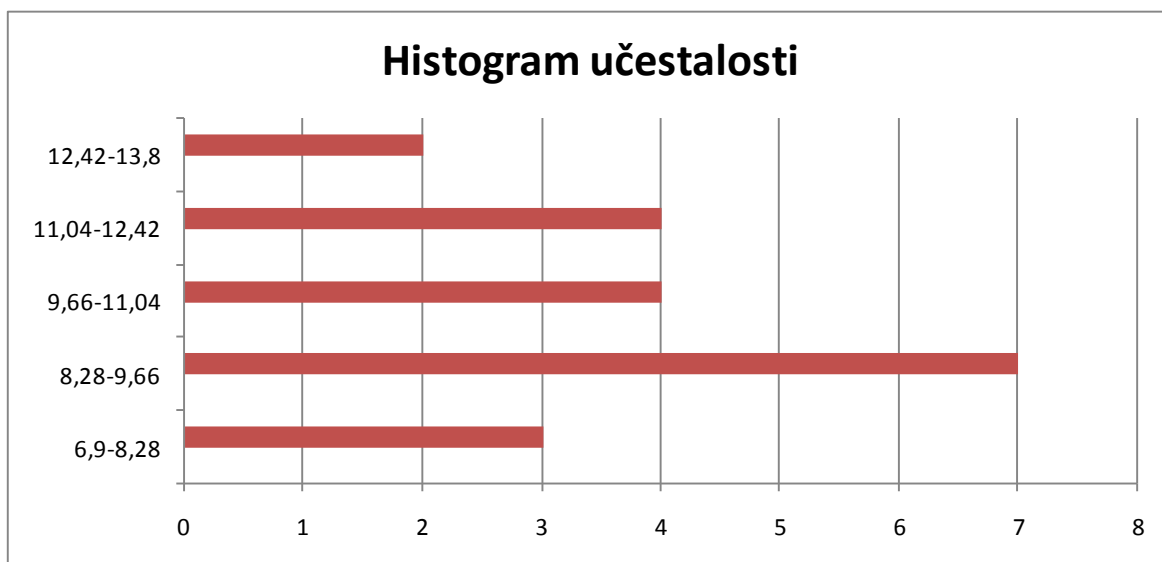
Slika 4.1. Hod srednjih godišnjih protoka na izvoru Jadra za razdoblje 1995.– 2014.

U tablici 4.1. prikazane su vrijednosti karakterističnih statističkih podataka za analizu hoda srednjih godišnjih protoka, a sami način proračuna uz objašnjenje svake statističke karakteristike je prikazan u poglavlju 2.6.

Tablica 4.1. *Vrijednosti statističkih karakteristika niza srednjih godišnjih protoka na izvoru Jadrta za razdoblje 1995.– 2014.*

VRIJEDNOSTI STATISTIČKIH KARAKTERISTIKA NIZA GODIŠNJIH ISTJECANJA		
r.br.	NAZIV I OZNAKA STATISTIČKE KARAKTERISTIKE	BROJČANI IZNOS
1	BROJ ČLANOVA UZORKA N	20
2	SREDNJA VRIJEDNOST	10,0
3	MOD	9,068571429
4	MEDIJAN	9,9
5	STANDARDNA DEVIJACIJA	1,734183152
6	KOEFICIJENT VARIJACIJE	0,173043692
7	MINIMUM	7,0
8	MAKSIMUM	13,8
9	RANG	6,8
10	GORNJI KVARTIL	11,28702732
11	DONJI KVARTIL	8,66940604
12	KOEFICIJENT ASIMETRIJE	0,320388863
13	KOEFICIJENT SPLJOŠTENOSTI	-0,520961842

Sada možemo nacrtati histogram učestalosti (slika 4.2.) na temelju podataka o širini razreda i broja podataka u svakom razredu:



Slika 4.2. *Histogram učestalosti na izvoru Jadrta za razdoblje 1995. -2014.*

5. ANALIZA MJESEČNIH OBORINA

5.1. Analiza mjesečnih oborina na postajama Muć i Dicmo

Kao uvod u analizu mjesečnih oborina na slikama 5.1. i 5.2. prikazan je hod mjesečnih oborina na postajama Muć i Dicmo za razdoblje 1995. – 2014. Hod je napravljen tako da smo najprije sumirali sve dnevne oborine za svaki mjesec posebno, a potom smo te rezultate prikazali grafički u ovisnosti o vremenu što je i vidljivo iz slike.

Veličine oborina u Muću, kako je vidljivo iz slike 5.1. kreću se od najmanje, koja je zabilježena u 2 slučaja, za travanj i kolovoz 2012. i iznosio je 0. Iz ovoga je vidljivo da su ova 2 mjeseca bili periodi ekstremnih suša, te su oni vrlo prikladni za analizu krivulja recesije. Kao čista suprotnost ovim minimumima, maksimum je zabilježen za prosinac 2004., a njegova vrijednost je bila 384,3 mm.

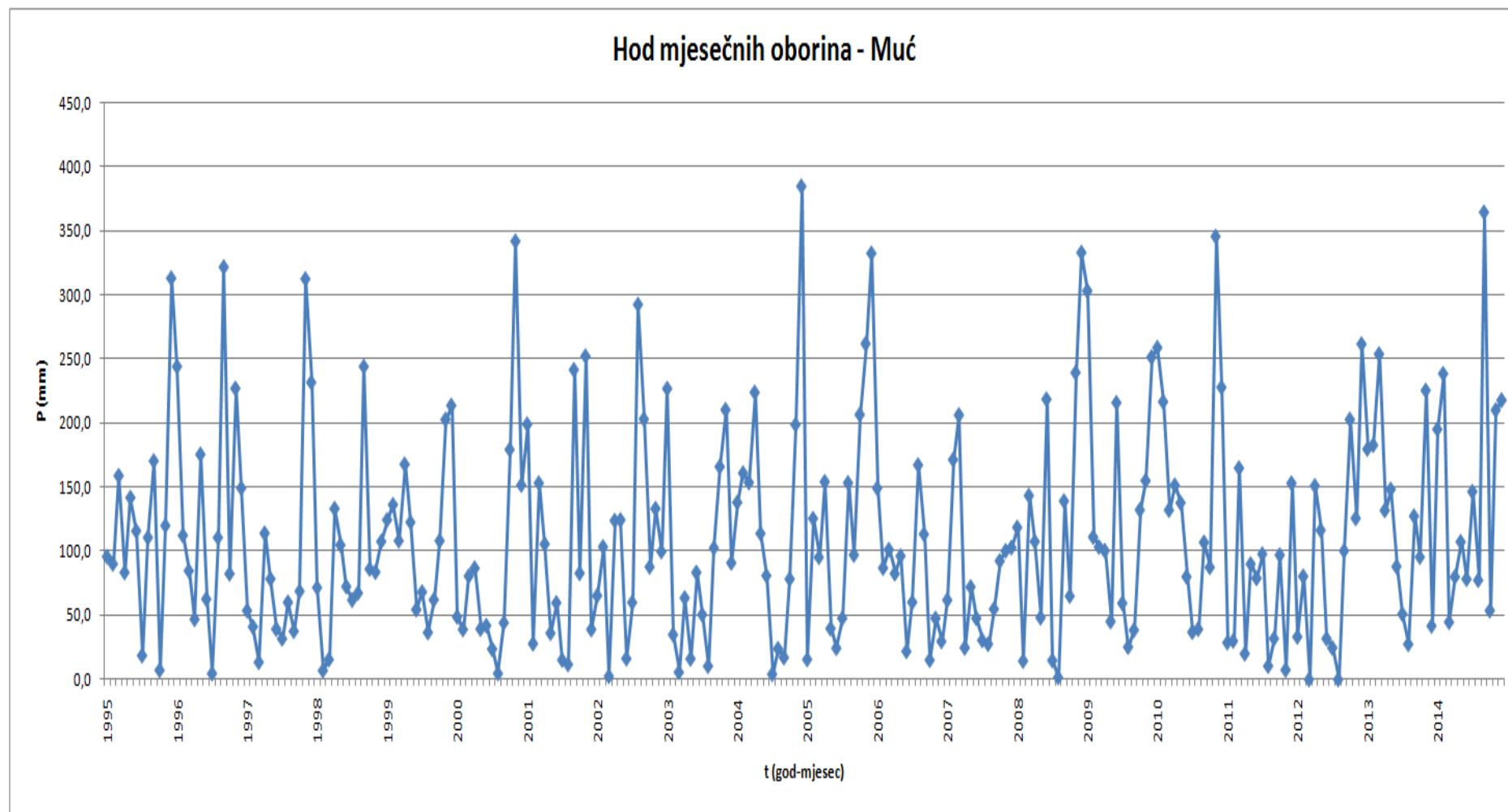
Za analizu mjesečnih oborina osnovni podaci koje smo koristili su prikazani u tablici 5.1. , a u njoj su osim mjesečnih i godišnjih oborina prikazane i najvažnije statističke karakteristike za ovu vrstu analize.

Promatrajući rezultate statističkih karakteristika u tablici 5.1. može se uočiti da koeficijent varijacije u samo jednom slučaju prelazi 1, što znači da nema velikog odstupanja standardne devijacije od aritmetičke sredine. Rang, odnosno razlika minimuma i maksimuma, se za zimske mjesece kreće oko vrijednosti 280 – 340 mm, dok se za ljetne mjesece vrijednost ranga spušta na 200 mm po mjesecu.

Ako su nam u analizi potrebne funkcije distribucije, na temelju rezultata za koeficijent asimetrije vidljivo je da će distribucija biti nagnuta u lijevo.

Tablica 5.1. *Količine i statističke karakteristike mjesečnih i godišnjih oborina zabilježenih na oborinskoj postaji Muć za razdoblje 1995. – 2014.*

	Količina oborina pala po mjesecima i u godini-Muć (mm)												
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	Godina
1995	95,70	90,10	158,80	83,40	141,70	115,80	18,70	110,60	170,30	7,20	119,90	312,70	1424,90
1996	243,90	112,30	84,70	46,90	175,40	62,70	4,60	110,60	321,40	82,40	226,80	149,20	1620,90
1997	53,60	41,10	13,40	113,90	78,40	39,30	31,70	60,10	37,60	68,80	312,20	231,50	1081,60
1998	71,60	6,90	15,50	133,10	104,80	72,40	61,90	67,40	243,80	86,10	83,70	107,50	1054,70
1999	124,40	136,20	108,10	167,70	122,60	54,50	68,20	36,60	62,10	108,10	202,60	213,50	1404,60
2000	48,80	39,00	80,60	86,70	39,30	42,00	23,70	4,60	44,20	179,20	341,60	151,50	1081,20
2001	198,90	27,90	153,10	105,50	36,10	59,70	15,20	11,70	241,40	82,80	252,00	39,00	1223,30
2002	65,30	103,40	2,60	123,80	124,30	16,30	60,00	292,20	202,90	87,70	133,10	99,60	1311,20
2003	226,70	34,90	5,60	63,50	16,10	83,40	50,50	10,40	102,50	165,80	210,20	90,90	1060,50
2004	138,00	160,90	153,50	223,70	113,80	80,90	4,10	23,90	17,10	78,30	198,60	384,30	1577,10
2005	15,60	125,40	95,20	154,10	39,70	24,40	47,70	153,20	97,10	206,40	261,70	332,10	1552,60
2006	149,10	86,90	101,20	82,50	96,20	21,90	60,20	167,10	113,20	15,10	47,60	29,70	970,70
2007	61,90	171,30	206,10	24,70	72,10	47,70	30,50	27,60	54,90	92,40	100,30	102,80	992,30
2008	118,50	14,40	143,30	107,50	48,20	218,40	14,90	1,60	139,10	65,00	239,10	332,70	1442,70
2009	302,90	111,00	103,30	100,40	45,20	215,70	59,40	25,30	38,50	132,10	154,90	251,20	1539,90
2010	258,60	216,50	132,00	151,40	137,70	80,10	36,90	39,20	106,80	87,40	345,30	227,70	1819,60
2011	28,70	30,00	164,70	20,10	90,00	78,90	97,80	10,50	31,90	97,00	76,80	153,00	879,40
2012	33,20	80,40	0,00	150,90	116,30	31,90	24,60	0,00	100,30	202,60	125,60	261,40	1127,20
2013	179,60	182,60	253,60	131,80	148,10	88,00	51,00	27,50	127,30	95,40	225,30	41,70	1551,90
2014	195,00	238,30	44,70	80,00	107,30	78,20	146,40	77,40	364,10	53,70	210,00	217,70	1812,80
	Statističke karakteristike mjesečnih i godišnjih oborina na postaji Muć												
	Srednja vrijednost	Medijan	Stan. devijacija	Koef. varijacije	Minimum	Maksimum	Rang	Gornji kvartil	Donji kvartil	Koef. asimetrije	Koef. spljoštenosti		
	130,50	100,48	101,00	107,58	92,67	75,61	45,40	62,88	130,83	99,68	193,37	186,49	1326,46
	121,45	96,75	102,25	106,50	100,50	67,55	42,30	32,10	104,65	87,55	206,30	183,25	1357,90
	83,47	66,61	69,95	48,59	43,13	53,36	32,97	71,52	95,98	52,62	84,50	103,40	279,23
	0,64	0,66	0,69	0,45	0,47	0,71	0,73	1,14	0,73	0,53	0,44	0,55	0,21
	15,60	6,90	0,00	20,10	16,10	16,30	4,10	0,00	17,10	7,20	47,60	29,70	879,40
	302,90	238,30	253,60	223,70	175,40	218,40	146,40	292,20	364,10	206,40	345,30	384,30	1819,60
	287,30	231,40	253,60	203,60	159,30	202,10	142,30	292,20	347,00	199,20	297,70	354,60	940,20
	195,98	142,38	153,20	137,55	123,03	81,53	60,05	85,70	178,45	114,10	242,33	253,75	1552,08
	59,83	37,98	37,40	81,88	47,45	41,33	22,45	11,40	52,23	75,93	124,18	102,00	1076,03
	0,46	0,45	0,19	0,22	-0,07	1,79	1,45	1,90	1,06	0,57	0,12	0,20	0,16
	-0,92	-0,70	-0,51	0,35	-0,93	3,20	3,11	4,02	0,42	0,15	-0,76	-0,97	-1,16



Slika 5.1. Hod mjesečnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Muć

Jednako kao i kod analize mjesečnih oborina u Muću i za Dicmo su primjenjeni jednaki postupci pri analizi mjesečnih oborina. Na slici 5.2. je prikazan hod mjesečnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Dicmo.

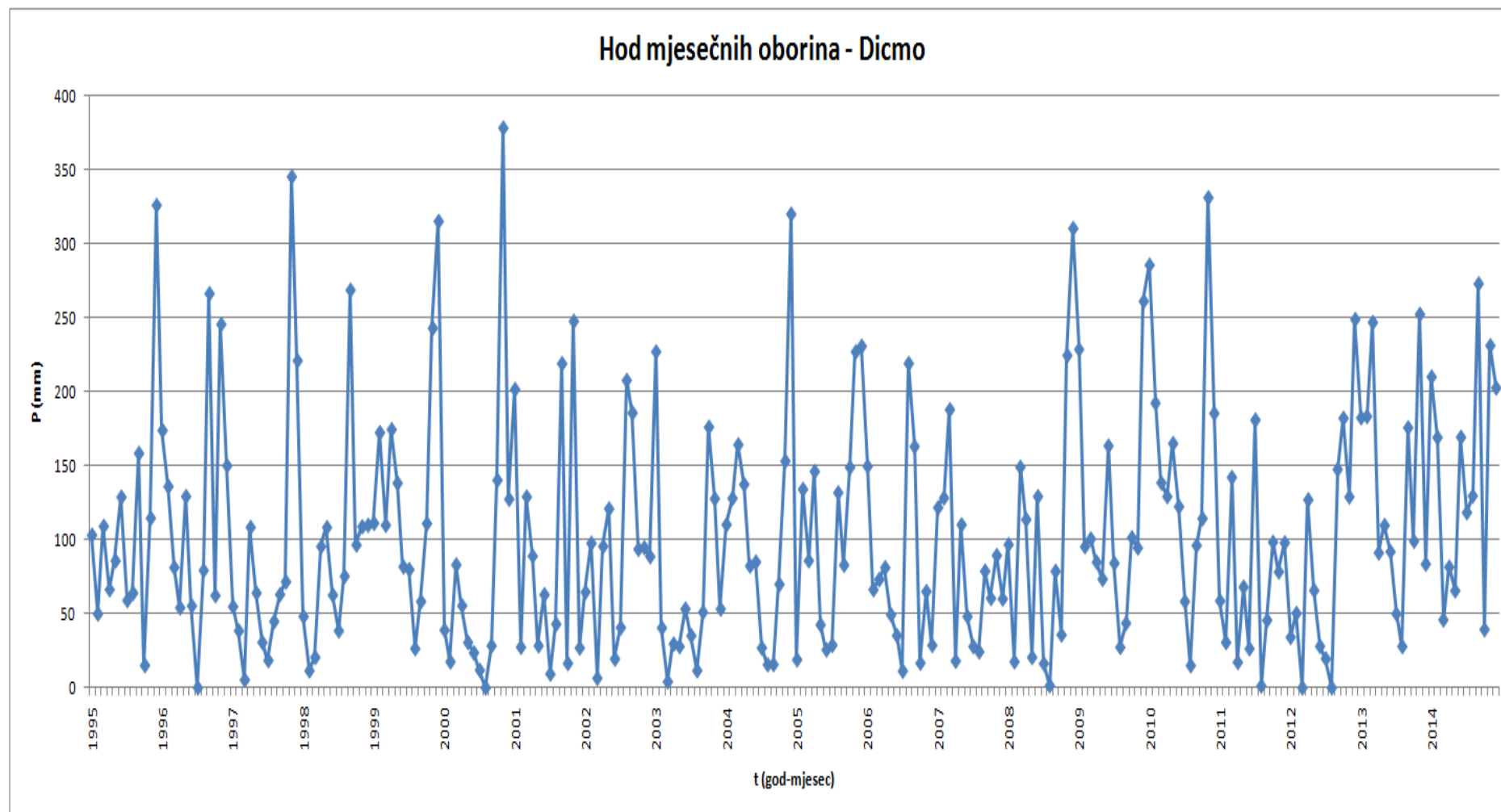
Najmanja zabilježena suma mjesečnih oborina za svaki mjesec pojedinačno se ponavlja čak 3 puta i iznosi 0, a to se zbilo u srpnju 1996., te u ožujku i travnju 2012. U ovom slučaju je čak, još lakše napraviti analizu recesijskih razdoblja i proračuna zaliha vode u Jadru zbog toga što imamo mnogo sušnih razdoblja. Maksimum koji je zabilježen se zbilo u studenome 2000. i iznosio je 378,9 mm.

Također, u tablici 5.2. su prikazane sve statističke karakteristike, kao i mjesečne i godišnje oborine koje su bile potrebne za grafički prikaz hoda mjesečnih protoka, te koje su potrebne kod hidroloških analiza.

Uspoređujući rezultate u tablicama 5.1. i 5.2. vidljivo je da su rezultati otprilike jednaki, što je još jedan dokaz o sličnosti oborina na ove dvije postaje. Gledajući kroz mjesece, imamo približno jednake sve najvažnije hidrološke karakteristike.

Tablica 5.2. Količine i statističke karakteristike mjesečnih i godišnjih oborina zabilježenih na oborinskoj postaji Dicmo za razdoblje 1995. – 2014.

	Količina oborina pala po mjesecima i u godini-Dicmo (mm)												
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	Godina
1995	103,30	50,00	109,30	66,40	85,90	129,00	59,10	64,10	158,60	15,10	114,80	326,60	1282,20
1996	174,20	136,20	81,40	54,10	129,50	55,40	0,00	79,40	266,80	62,40	246,00	150,30	1435,70
1997	54,90	38,50	5,30	108,60	64,10	30,70	18,50	44,90	63,10	71,70	345,90	221,40	1067,60
1998	48,20	11,50	20,60	95,60	108,50	62,70	38,50	75,40	269,20	96,70	109,00	110,00	1045,90
1999	111,40	172,70	110,00	174,80	138,50	81,90	80,00	26,50	58,40	111,10	243,40	315,70	1624,40
2000	39,00	17,60	83,20	55,50	30,60	23,60	11,90	0,00	28,40	140,50	378,90	127,60	936,80
2001	201,90	27,50	129,20	89,10	28,40	63,00	9,30	43,10	219,40	16,50	248,10	26,90	1102,40
2002	64,80	97,80	6,40	95,70	121,10	19,50	40,70	208,10	186,00	93,80	94,90	88,80	1117,60
2003	227,40	40,50	4,10	29,60	27,90	53,30	35,20	11,60	51,10	176,40	127,90	53,30	838,30
2004	110,40	128,20	164,50	137,60	82,50	85,10	27,00	15,60	15,80	70,00	153,40	320,60	1310,70
2005	19,00	134,30	86,00	146,40	42,60	25,70	28,80	132,00	83,00	149,20	227,40	231,20	1305,60
2006	149,90	66,40	73,30	81,30	49,30	35,30	11,30	219,50	163,30	16,70	65,10	28,70	960,10
2007	121,90	128,50	188,20	18,10	110,30	48,10	27,90	24,30	78,90	60,50	89,50	60,10	956,30
2008	96,90	17,60	149,30	113,90	20,60	129,40	16,30	1,40	78,80	35,80	224,90	310,90	1195,80
2009	229,00	95,50	100,70	85,00	73,50	163,70	84,30	27,40	43,70	101,60	94,70	261,60	1360,70
2010	286,10	192,70	138,70	129,40	165,30	122,60	58,40	15,00	96,30	114,50	331,70	185,70	1836,40
2011	58,80	30,70	142,40	17,20	68,20	26,40	181,20	1,20	45,70	98,50	78,40	98,10	846,80
2012	34,20	50,40	0,00	127,20	65,90	28,10	19,60	0,00	147,80	182,40	129,20	249,30	1034,10
2013	182,70	183,60	247,30	91,30	109,90	92,10	50,00	27,90	176,00	99,20	252,80	83,70	1596,50
2014	210,40	169,40	46,00	81,70	65,70	169,60	118,60	129,80	273,50	39,40	231,60	203,00	1738,70
Statističke karakteristike mjesečnih i godišnjih oborina na postaji Dicmo													
Srednja vrijednost	126,22	89,48	94,30	89,93	79,42	72,26	45,83	57,36	125,19	87,60	189,38	172,68	1229,63
Medijan	110,90	80,95	93,35	90,20	70,85	59,05	32,00	27,65	89,65	95,25	189,15	168,00	1156,70
Stan. devijacija	75,55	60,20	66,12	41,16	40,01	46,57	42,35	64,56	82,47	48,78	93,57	100,42	287,53
Koef. varijacije	0,60	0,67	0,70	0,46	0,50	0,64	0,92	1,13	0,66	0,56	0,49	0,58	0,23
Minimum	19,00	11,50	0,00	17,20	20,60	19,50	0,00	0,00	15,80	15,10	65,10	26,90	838,30
Maksimum	286,10	192,70	247,30	174,80	165,30	169,60	181,20	219,50	273,50	182,40	378,90	326,60	1836,40
Rang	267,10	181,20	247,30	157,60	144,70	150,10	181,20	219,50	257,70	167,30	313,80	299,70	998,10
Gornji kvartil	187,50	134,78	139,63	117,23	110,00	99,73	58,58	76,40	178,50	111,95	246,53	252,38	1379,45
Donji kvartil	57,83	36,55	39,65	63,68	47,63	30,05	17,95	14,15	56,58	55,23	105,48	87,53	1015,60
Koef. asimetrije	0,43	0,32	0,32	-0,03	0,38	0,80	1,90	1,49	0,57	0,27	0,47	0,14	0,63
Koef. spljoštenosti	-0,88	-1,41	-0,22	-0,28	-0,67	-0,50	4,14	1,42	-0,99	-0,57	-0,90	-1,39	-0,54



Slika 5.2. *Hod mjesečnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Dicmo*

6. ANALIZA MJESEČNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORU JADRA

Jednako kao i u 5. poglavlju, kao uvod u analizu hoda mjesečnih istjecanja, na slici 6.1. se nalazi grafički prikaz hoda mjesečnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. Jedina razlika u proračunu između mjesečnih oborina i mjesečnih otjecanja je ta, što oborini zbrajamo, a u slučaju istjecanja računamo prosjek u traženom razdoblju.

Najmanji protok je zabilježen u rujnu 2003. i iznosio je $3,97 \text{ m}^3/\text{s}$, a najveći protok je zabilježen prosincu 2008. i iznosio je $30,72 \text{ m}^3/\text{s}$. Dosta je velika razlika između najmanjeg i najvećeg podatka, ali to nije ništa čudno, zapravo to je i karakteristika većine krških rijeka u Hrvatskoj.

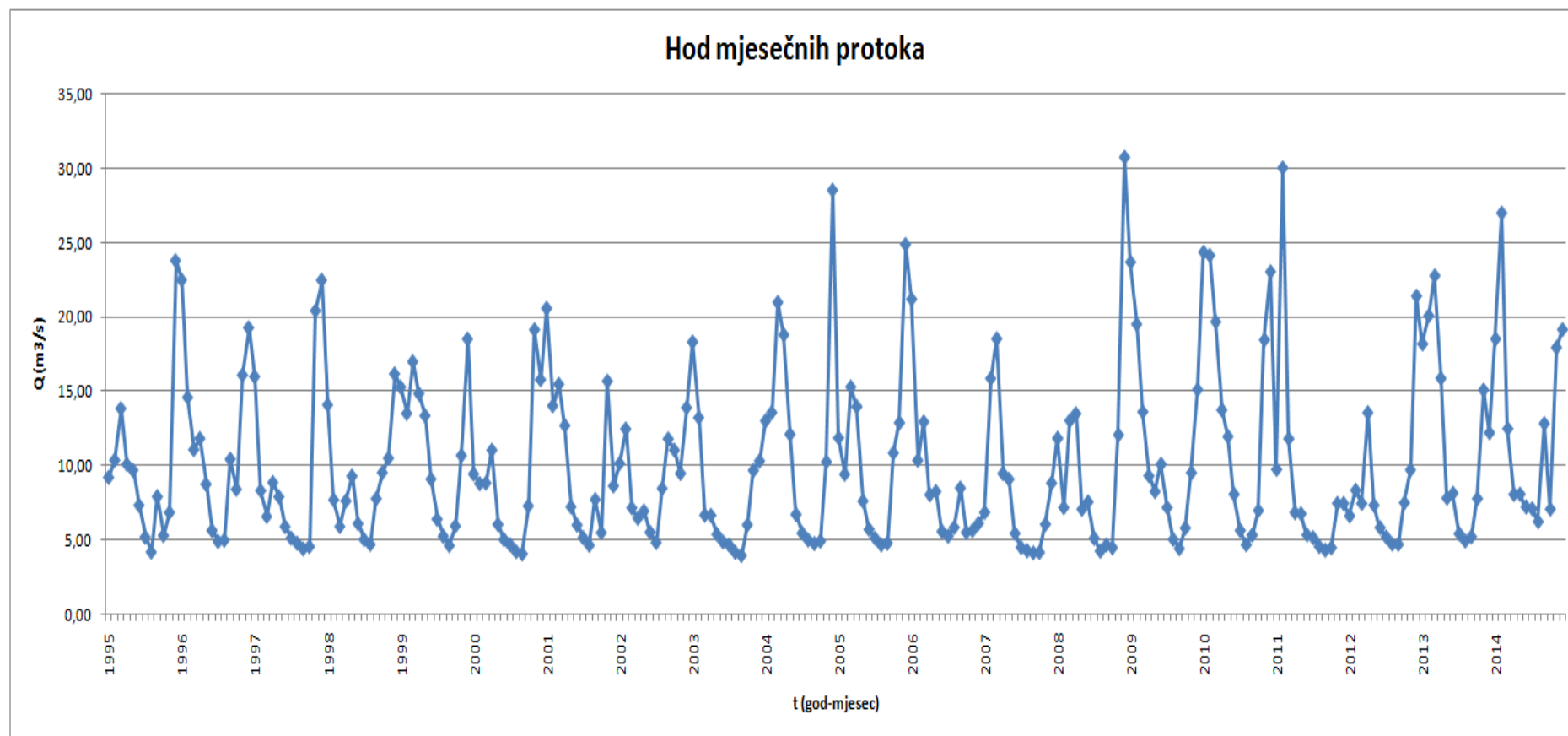
U tablici 6.1. se nalaze podaci koji mogu biti vrlo korisni kod statističke obrade podataka u hidrotehnici. Podaci koji se nalaze u tablici su: srednja vrijednost, standardna devijacija, medijan, koef. varijacije, minimum, maksimum, rang, donji i gornji kvartil, koef. asimetrije i koef. spljoštenosti.

Iz rezultata u tablici 6.1. može se zaključiti da na mjesečnoj bazi nema velike varijacije u protocima kroz analizirano razdoblje. U nekim mjesecima imamo veće, a u nekima manje protoke, što naravno ovisi i o godišnjem dobu, odnosno padalinama, ali ipak je primjetno da niti jedan rezultat ne odudara od svih ostalih.

Ipak, u analizi hidroloških režima, analiza na dnevnoj bazi i nije toliko relevantna kao mjesečna ili godišnja, zbog toga što je vrlo teško donijeti konkretne zaključke na temelju dnevnih vrijednosti, dok se za mjesečne i godišnje analize već mogu donijeti kvalitetni zaključci o hidrološkim vezama.

Tablica 6.1. *Količine i statističke karakteristike mjesečnih i godišnjih istjecanja na izvoru Jadra za razdoblje 1995.-2014.g.*

	Količine istjecanja na izvoru Jadra po mjesecima i u godini (m3/s)												
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	Godina
1995	9,21	10,37	13,84	10,09	9,70	7,34	5,20	4,19	7,93	5,31	6,85	23,77	9,49
1996	22,48	14,59	11,08	11,83	8,76	5,65	4,90	5,00	10,43	8,41	16,09	19,26	11,53
1997	15,98	8,32	6,59	8,87	7,91	5,90	5,14	4,79	4,42	4,56	20,41	22,47	9,62
1998	14,09	7,71	5,91	7,64	9,30	6,11	5,04	4,72	7,79	9,53	10,50	16,17	8,72
1999	15,28	13,51	16,98	14,84	13,36	9,10	6,41	5,26	4,63	5,95	10,69	18,51	11,21
2000	9,45	8,80	8,83	11,05	6,05	5,04	4,69	4,22	4,08	7,30	19,13	15,78	8,69
2001	20,57	14,02	15,47	12,70	7,24	6,01	5,17	4,66	7,73	5,50	15,68	8,64	10,25
2002	10,16	12,46	7,17	6,47	6,96	5,53	4,84	8,47	11,80	11,04	9,48	13,89	9,00
2003	18,31	13,23	6,68	6,67	5,39	4,88	4,66	4,18	3,97	6,02	9,69	10,32	7,81
2004	13,02	13,57	20,97	18,79	12,11	6,72	5,47	5,01	4,77	4,93	10,26	28,50	12,02
2005	11,86	9,42	15,29	13,97	7,62	5,72	5,13	4,68	4,79	10,86	12,88	24,86	10,61
2006	21,19	10,36	12,95	8,05	8,27	5,58	5,27	5,85	8,50	5,52	5,65	6,13	8,61
2007	6,86	15,86	18,52	9,48	9,09	5,45	4,51	4,29	4,15	4,18	6,06	8,83	8,06
2008	11,84	7,18	13,03	13,51	7,07	7,57	5,13	4,26	4,67	4,49	12,07	30,72	10,15
2009	23,67	19,50	13,62	9,32	8,26	10,10	7,19	5,05	4,43	5,81	9,53	15,11	10,92
2010	24,34	24,12	19,67	13,74	11,96	8,08	5,65	4,69	5,34	6,99	18,45	23,02	13,78
2011	9,75	7,38	11,82	6,85	6,77	5,35	5,16	4,58	4,33	4,48	7,47	9,53	6,96
2012	6,63	8,35	7,46	13,56	7,35	5,84	5,22	4,73	4,72	7,52	9,72	21,39	8,54
2013	18,18	20,07	22,76	15,87	7,82	8,15	5,43	4,94	5,23	7,79	15,09	12,21	11,90
2014	18,51	26,97	12,49	8,07	8,09	7,23	7,11	6,24	12,83	7,08	17,93	19,14	12,54
Statističke karakteristike mjesečnih i godišnjih istjecanja na izvoru Jadra													
Srednja vrijednost	15,07	13,29	13,06	11,07	8,45	6,57	5,37	4,99	6,33	6,66	12,18	17,41	10,02
Medijan	14,68	12,85	12,99	10,57	8,00	5,96	5,17	4,72	4,78	5,99	10,59	17,34	9,89
Stan. devijacija	5,47	5,49	4,90	3,37	1,99	1,39	0,71	0,95	2,67	2,00	4,42	6,77	1,73
Koef. varijacije	0,36	0,41	0,38	0,30	0,23	0,21	0,13	0,19	0,42	0,30	0,36	0,39	0,17
Minimum	6,63	7,18	5,91	6,47	5,39	4,88	4,51	4,18	3,97	4,18	5,65	6,13	6,96
Maksimum	24,34	26,97	22,76	18,79	13,36	10,10	7,19	8,47	12,83	11,04	20,41	30,72	13,78
Rang	17,71	19,79	16,85	12,33	7,97	5,22	2,68	4,29	8,86	6,87	14,76	24,59	6,82
Gornji kvartil	19,03	14,91	15,85	13,60	9,14	7,40	5,44	5,02	7,82	7,58	15,78	22,61	11,29
Donji kvartil	10,05	8,69	8,49	8,07	7,20	5,57	5,01	4,51	4,43	5,22	9,52	11,74	8,67
Koef. asimetrije	0,15	1,10	0,27	0,47	1,07	1,07	1,64	2,67	1,28	0,89	0,38	0,17	0,32
Koef. spljoštenosti	-1,21	0,62	-0,78	-0,52	0,88	0,46	2,21	8,59	0,54	0,04	-1,02	-0,80	-0,52



Slika 6.1. *Hod srednjih mjesečnih protoka na izvoru Jadra za razdoblje 1995. – 2014.*

7. ANALIZA DNEVNIH OBORINA

7.1. Analiza dnevnih oborina na postajama Muć i Dicmo

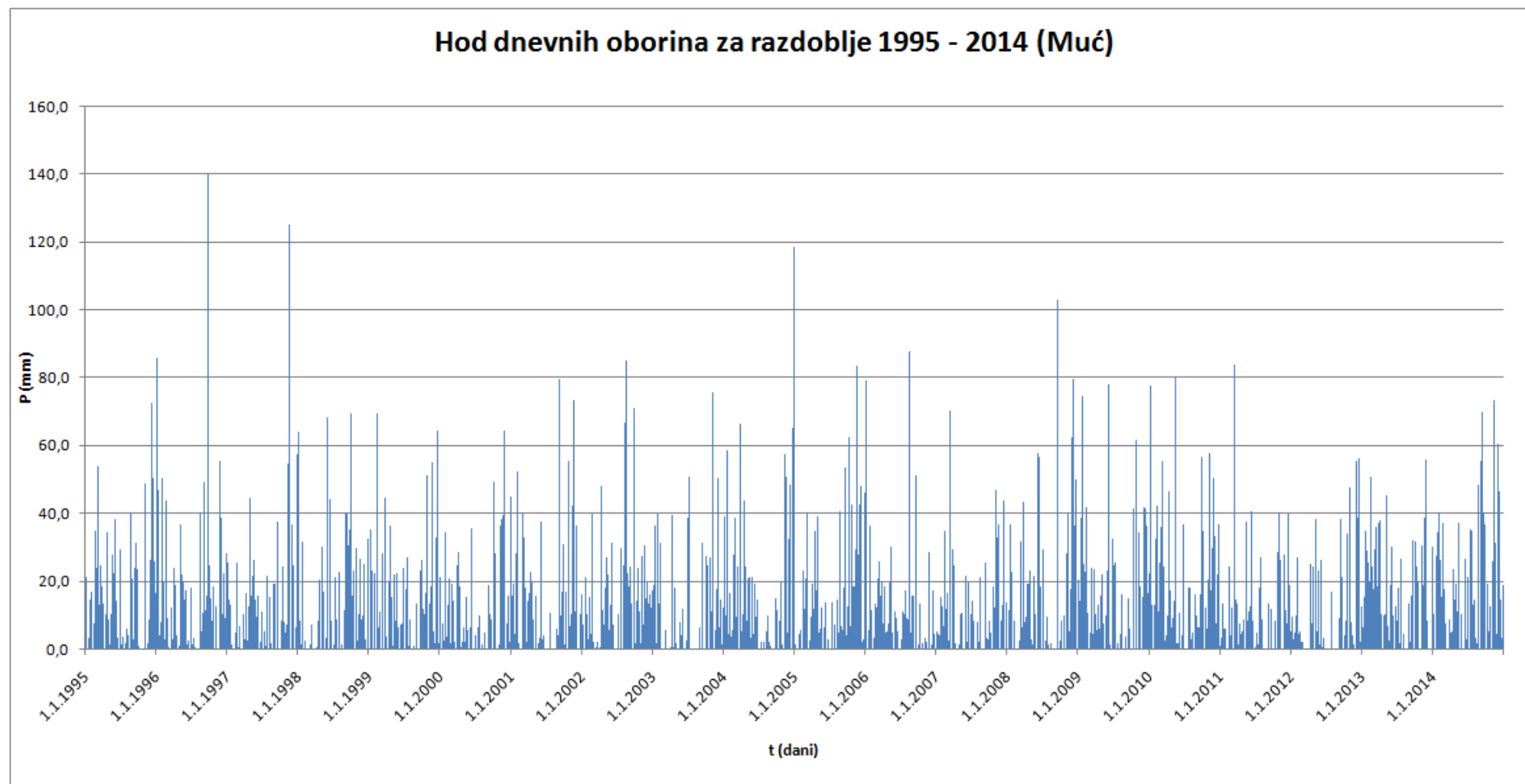
Kao uvod u analizu dnevnih oborina na slikama 7.1. i 7.2. je prikazan hod dnevnih oborina za ukupno promatrano razdoblje 1995. – 2014. Na njemu se nalaze sve visine oborina u navedenom razdoblju. Graf je konstruiran tako da možemo svakome danu dodijeliti njegovu pripadajuću oborinu.

Isto tako, u nastavku, u tablicama 7.1. i 7.2. je dan prikaz nekih statističkih karakteristika ($P_{\max}$, P_{srednje} , standardna devijacija te koeficijenti varijacije i asimetrije) koje su važne kod analize dnevnih oborina.

Tablica 7.1. *Najvažnije statističke karakteristike kod analize dnevnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Muć*

Statističke karakteristike za razdoblje 1995. - 2014. na oborinskoj postaji Muć													
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	Cjelokupno razdoblje
P max	85,5	69,4	83,8	47,8	80,2	78	50,5	87,8	139,7	62,5	125	118,5	139,7
P sred	4,21	3,56	3,26	3,59	2,99	2,52	1,46	2,03	4,36	3,22	6,45	6,02	3,64
Stan. Dev	10,41	8,32	8,89	7,58	7,68	7,59	5,02	7,96	12,73	8,55	13,99	13,02	2,57
Koef. varijacije	2,47	2,34	2,73	2,11	2,57	3,01	3,43	3,93	2,92	2,66	2,17	2,16	0,71
Koef. asimetrije	4,00	3,32	4,44	2,96	4,50	4,95	4,82	6,62	4,93	3,86	3,28	3,31	0,95

Iz tablice 7.1. je vidljivo da je najveća oborina zabilježena na oborinskoj postaji u Muću, iznosila 139,7 mm, a prosječna oborina je iznosila 3,97 mm. Na temelju ovih podataka možemo zaključiti da područje oko Muća ne obiluje kišom, a isto tako s obzirom da koeficijent varijacije nije prevelik, nema prevelike razlike u padalinama po mjesecima i danima u promatranom razdoblju. Na temelju srednjih dnevnih oborina promatranima kroz mjesece vidljivo je da nema velike razlike između maksimalnih i prosječnih oborina kroz promatrano razdoblje.



Slika 7.1. *Hod dnevnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Muć*

Jednako kao i kod analize dnevnih oborina na oborinskoj postaji u Muću i za Dicmo su primjenjeni jednaki principi analize. Na slici 7.2. je prikazan hod dnevnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. Graf je također konstruiran tako da svakom danu možemo dodijeliti pripadajuću oborinu.

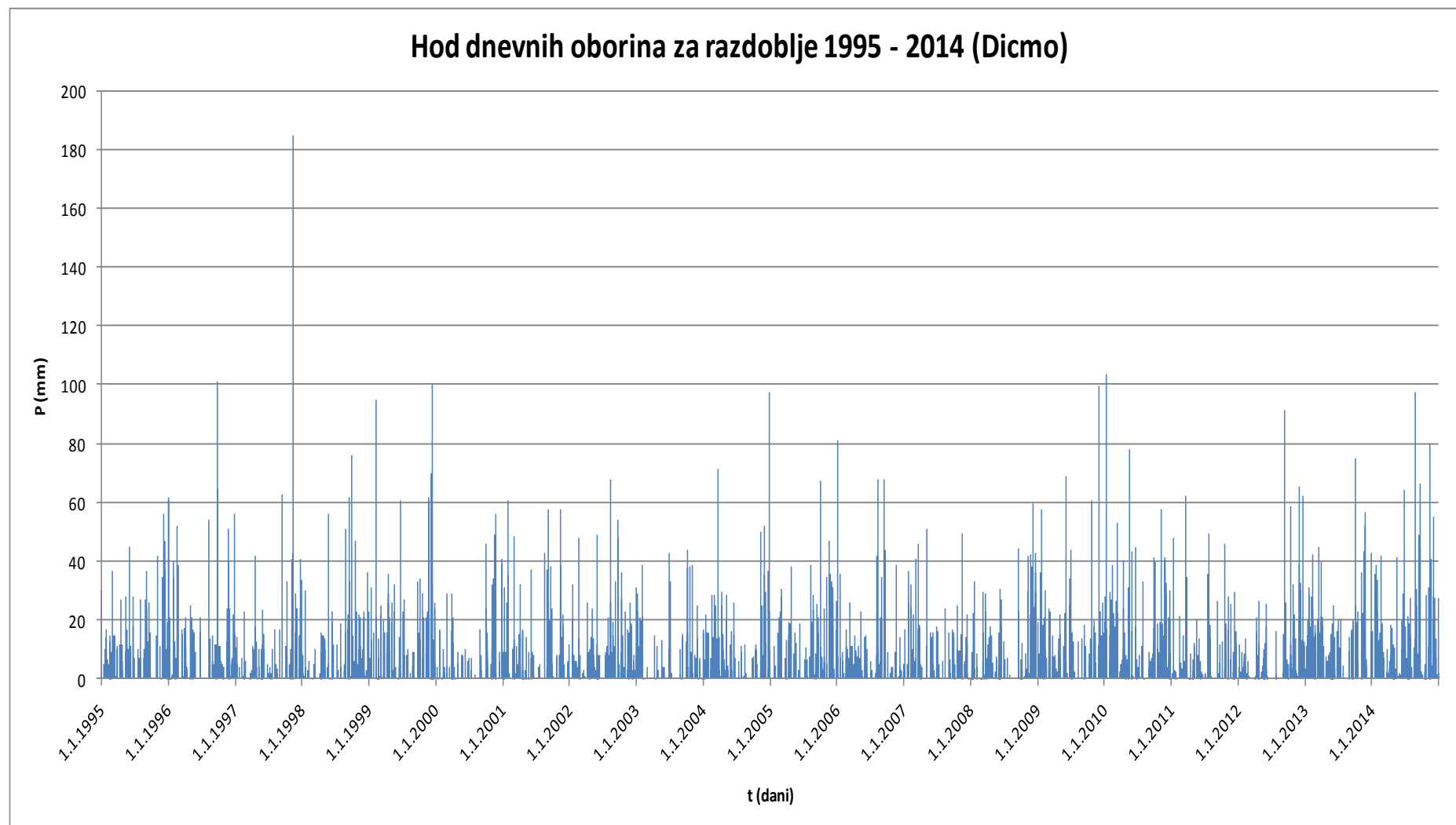
U tablici 7.2. je prikazan niz statističkih karakteristika (istih kao i kod Muća) za promatrano razdoblje.

Tablica 7.2. *Najvažnije statističke karakteristike kod analize dnevnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Dicmo*

Statističke karakteristike za razdoblje 1995. - 2014. na oborinskoj postaji Dicmo													
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Swibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	Cjelokupno razdoblje
P max	103,8	95,1	71,5	42,1	78,2	69,1	49,8	98	101,1	67,8	185,1	100,2	185,1
P sred	4,07	3,17	3,04	3,00	2,56	2,41	1,48	1,85	4,17	2,83	6,31	5,57	3,37
Stan. Dev	10,12	8,14	8,10	6,28	7,11	7,68	5,18	7,87	12,08	7,98	14,51	12,55	2,66
Koef. varijacije	2,48	2,57	2,66	2,10	2,78	3,19	3,51	4,25	2,90	2,82	2,30	2,25	0,79
Koef. asimetrije	4,28	4,85	4,10	2,92	4,95	4,87	5,09	6,93	4,29	4,41	4,80	3,76	0,92

Iz tablice 7.2. je vidljivo da je najveća zabilježena oborina u promatranom razdoblju bila 185,1 mm, a prosječna padalina je iznosila 3,37 mm. Isto tako, koeficijent varijacije nije velik (kreće se između 3 – 4), što znači da nema velikih odstupanja među najvećim i prosječnim oborinama.

Na dnevnoj bazi se rezultati nešto i razlikuju, ako uspoređujemo dvije postaje, što je i normalno, jer je nemoguće da padne otprilike jednaka količina oborina na 2 različita mjesta, analizirajući dan po dan. Ali kada se ta skala podigne na mjesečnu ili godišnju razinu, vidi se da se dnevne količine oborina polako izjednačavaju u Muću i Dicmu.



Slika 7.2. Hod dnevnih oborina za razdoblje 1995. – 2014. na oborinskoj postaji Dicmo

8. ANALIZA DNEVNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORU JADRA

Iako slična, analiza dnevnih količina istjecanja nije u potpunosti jednaka kao i analiza dnevnih količina oborina. Analizu dnevnih količina istjecanja smo započeli prikazom hoda godišnjih istjecanja (slika 8.1.), i tablicama 8.1. i 8.2. u kojima se nalazi prikaz maksimalnih i minimalnih vrijednosti srednjih dnevnih protoka te pripadajućih statističkih obilježja, koji su zabilježeni za pojedine mjesece i godine u promatranom razdoblju. Jednako tako, u tablici 8.3. su prikazana ista statistička obilježja, uz izuzetak što smo u ovoj tablici računali ta obilježja za svaki dan posebno, za pojedine mjesece u cjelokupnom razdoblju (ne uzimajući u obzir maksimume i minimume).

Tablica 8.1. Maksimalne vrijednosti srednjih dnevnih protoka po pojedinim mjesecima i godinama za razdoblje 1995. - 2014.

	Maksimalne vrijednosti dnevnih protoka za pojedine mjesece i godine												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
1995	62,98	19,17	33,58	21,63	20,13	8,73	6,18	5,09	15,20	6,05	24,01	52,33	62,98
1996	61,56	22,24	20,06	25,40	13,79	6,65	5,19	8,32	42,94	14,47	46,15	29,60	61,56
1997	26,30	12,03	7,73	23,36	12,66	6,64	5,46	5,00	4,74	5,16	64,66	52,04	64,66
1998	24,33	9,40	6,49	14,41	17,55	7,99	5,48	4,95	32,14	14,08	18,50	36,16	36,16
1999	24,86	22,36	29,15	28,29	25,44	30,37	7,50	5,73	5,50	12,42	23,22	48,08	48,08
2000	16,27	11,16	14,52	18,63	7,11	5,50	4,84	4,29	4,21	11,22	60,74	39,80	60,74
2001	51,55	37,35	34,56	20,41	8,97	10,11	5,47	5,02	17,03	6,88	53,65	17,14	53,65
2002	21,75	20,86	10,07	8,50	10,89	7,03	5,02	19,57	32,53	21,80	22,26	27,08	32,53
2003	31,57	28,81	7,67	9,13	5,97	5,04	4,88	4,55	4,44	13,93	29,32	30,17	31,57
2004	25,66	30,52	48,10	33,56	28,17	7,70	5,78	5,22	4,87	6,77	29,02	70,06	70,06
2005	27,31	21,40	35,40	24,89	12,18	6,69	5,34	5,75	7,29	30,34	34,56	47,59	47,59
2006	61,59	17,03	17,57	11,02	14,64	6,06	5,42	13,69	21,23	6,32	12,42	10,00	61,59
2007	13,50	34,78	46,40	17,02	26,79	6,81	5,04	4,33	4,33	5,16	16,17	20,46	46,40
2008	29,90	10,05	29,15	23,57	9,90	13,06	5,64	4,39	9,39	6,31	29,78	60,31	60,31
2009	62,98	33,45	34,41	13,53	13,93	20,01	10,17	5,43	4,83	20,51	21,70	28,03	62,98
2010	62,15	34,59	47,35	32,61	32,33	15,44	6,74	5,20	14,44	20,29	35,55	46,61	62,15
2011	15,68	9,93	28,62	8,52	11,33	5,68	8,49	5,26	4,41	6,70	16,48	17,48	28,62
2012	8,76	15,78	11,46	31,48	9,53	6,69	5,32	5,27	5,94	16,59	25,04	41,69	41,69
2013	43,53	37,01	36,35	38,52	11,43	14,71	6,06	5,06	9,11	13,68	47,29	41,62	47,29
2014	36,61	41,22	22,91	13,38	10,91	12,44	8,92	7,16	25,94	10,06	40,70	43,68	43,68
Osnovne statističke karakteristike													
Q max	62,98	41,22	48,10	38,52	32,33	30,37	10,17	19,57	42,94	30,34	64,66	70,06	70,06
Q min	8,76	9,40	6,49	8,50	5,97	5,04	4,84	4,29	4,21	5,16	12,42	10,00	28,62
Q sred	35,44	23,46	26,08	20,89	15,18	10,17	6,15	6,46	13,53	12,44	32,56	38,00	51,21
Rang	54,21	31,82	41,61	30,02	26,37	25,33	5,33	15,28	38,73	25,18	52,24	60,06	41,44

Tablica 8.2. Minimalne vrijednosti srednjih dnevnih protoka po pojedinim mjesecima i godinama za razdoblje 1995. - 2014.

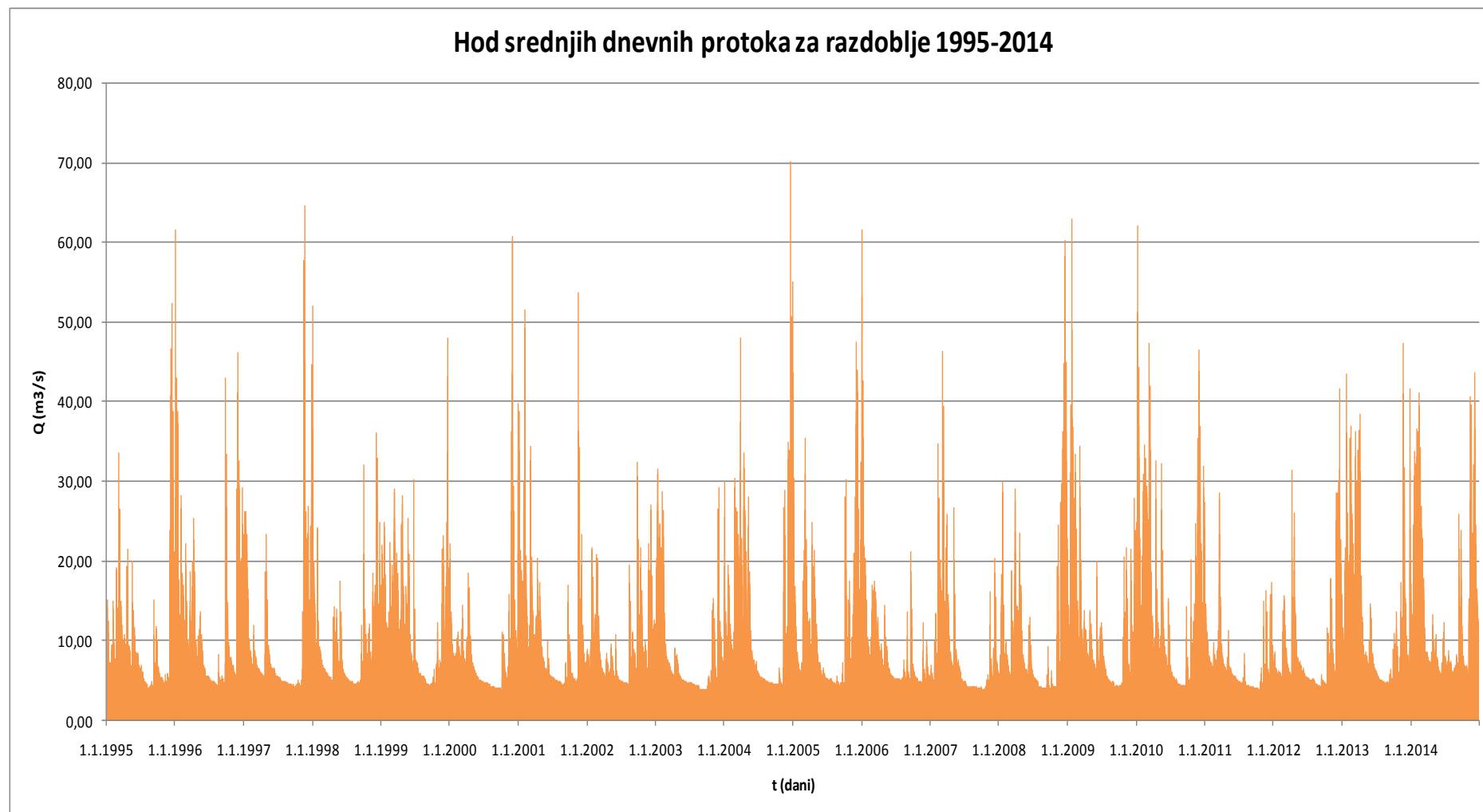
	Minimalne vrijednosti dnevnih protoka za pojedine mjesece i godine												Godina
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1995	6,57	5,99	8,65	6,74	5,85	6,41	4,43	3,72	4,23	4,37	4,43	8,75	3,72
1996	11,41	10,02	7,81	6,86	6,67	5,18	4,61	4,37	4,48	6,44	5,61	14,36	4,37
1997	8,40	6,93	5,96	5,59	6,27	5,45	4,97	4,66	4,07	4,39	4,47	9,71	4,07
1998	8,87	6,46	5,41	4,99	6,35	5,27	4,81	4,49	4,53	7,21	7,48	9,06	4,49
1999	9,68	8,49	11,22	9,22	9,17	7,18	5,70	4,57	4,50	4,58	5,22	7,86	4,50
2000	7,62	6,92	6,73	7,11	5,50	4,82	4,27	4,11	3,98	4,84	4,97	8,07	3,98
2001	10,77	7,85	8,28	9,25	5,92	5,47	4,81	4,35	4,61	4,81	4,81	6,53	4,35
2002	6,36	8,39	5,96	5,47	5,45	5,03	4,67	4,62	5,74	7,17	5,69	10,06	4,62
2003	11,32	7,65	5,88	5,59	5,04	4,71	4,49	3,87	3,88	4,07	5,12	6,76	3,87
2004	8,17	6,87	11,13	9,11	7,28	5,87	5,22	4,87	4,68	4,59	4,48	11,34	4,48
2005	6,59	5,86	10,04	7,68	6,06	5,15	4,77	4,39	4,39	4,60	5,96	10,60	4,39
2006	10,19	7,44	9,08	6,81	6,06	5,30	5,15	5,04	5,08	5,08	4,81	5,16	4,81
2007	4,87	6,75	9,55	6,72	6,24	4,90	4,31	4,24	4,04	3,94	4,21	5,77	3,94
2008	5,61	5,77	5,55	9,60	5,82	5,69	4,36	4,18	4,17	4,21	4,26	15,21	4,17
2009	10,48	9,65	8,95	7,57	6,47	7,03	5,40	4,85	4,27	4,23	5,23	9,30	4,23
2010	11,28	14,42	9,68	8,85	8,06	5,78	5,05	4,51	4,38	4,75	6,68	13,53	4,38
2011	7,34	6,34	7,04	5,89	5,59	5,07	4,69	4,37	4,20	4,08	4,53	5,53	4,08
2012	5,93	5,56	5,86	5,66	6,29	5,41	5,11	4,38	4,32	4,56	5,94	13,44	4,32
2013	8,22	12,46	11,50	7,85	6,51	6,11	5,01	4,85	4,69	5,63	5,40	6,72	4,69
2014	8,85	16,93	8,15	6,89	6,34	5,90	6,44	5,78	6,14	6,04	5,81	10,01	5,78
Osnovne statističke karakteristike													
Q max	11,41	16,93	11,50	9,60	9,17	7,18	6,44	5,78	6,14	7,21	7,48	15,21	5,78
Q min	4,87	5,56	5,41	4,99	5,04	4,71	4,27	3,72	3,88	3,94	4,21	5,16	3,72
Qsred	8,43	8,34	8,12	7,17	6,35	5,59	4,91	4,51	4,52	4,98	5,26	9,39	4,36
Rang	6,54	11,37	6,09	4,61	4,13	2,47	2,17	2,06	2,26	3,27	3,27	10,04	2,06

Iz tablica 8.1. i 8.2. možemo vidjeti da se maksimalni zabilježeni srednji dnevni protok zbio u prosincu 2004. i iznosio je $70,06 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je minimalni zabilježen u kolovozu 1995. i iznosio je $3,72 \text{ m}^3/\text{s}$. Može se primjetiti, da se vremensko razdoblje najmanjih, odnosno najvećih protoka, poklapa upravo s vremenskim razdobljem kada su zabilježene najmanje i najveće oborine.

Tablica 8.3. *Najvažnije statističke karakteristike kod analize dnevnih količina istjecanja za razdoblje 1995. – 2014. na izvoru Jadra*

Statističke karakteristike za razdoblje 1995. - 2014. na izvoru Jadra													
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	Cjelokupno razdoblje
Q max	62,98	41,22	48,10	38,52	32,33	30,37	10,17	19,57	42,94	30,34	64,66	70,06	70,06
Q min	4,87	5,56	5,41	4,99	5,04	4,71	4,27	3,72	3,88	3,94	4,21	5,16	3,72
Q sred	15,07	13,27	13,06	11,07	8,45	6,57	5,37	4,99	6,33	6,66	12,18	17,41	10,02
Rang	58,10	35,66	42,69	33,53	27,29	25,66	5,90	15,85	39,06	26,40	60,45	64,89	66,34

Iz tablice 8.3. je vidljivo da postoje vrlo velike razlike među protocima za pojedine mjesece u godinama. Na temelju tih razlika možemo zaključiti da bi trebale postojati i razlike u oborinama, iako u kršu to i nije uvijek slučaj. Poblježe ćemo se upoznati sa razlikama u oborinama na postajama u Muću i Dicmu i što nam one znače u hidrološkoj analizi u poglavlju 11 koje se bavi razlikama u samim hidrološkim postajama koje su analizirane u ovom radu.



Slika 8.1. *Hod srednjih dnevnih protoka na izvoru Jadra za razdoblje 1995. – 2014.*

9. REGRESIJSKA ANALIZA

Na osnovu podataka o palim dnevnim, mjesečnim i godišnjim oborinama, te na osnovi srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih protoka dan je grafički prikaz tih međudnosa sa funkcijom i koeficijentom regresije.

Uspostavljene su veze između godišnjih oborina i srednjih godišnjih protoka, mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka te dnevnih oborina i srednjih dnevnih protoka, a sve uspostavljene funkcije regresije su na vezi Muć – Jadro i Dicmo – Jadro.

Najčešći kriteriji pri određivanju regresije jest da je regresija dobra, ako je $R^2 > 0.5$, dok je u praksi taj kriterij puno stroži i iznosi $R^2 > 0.7$

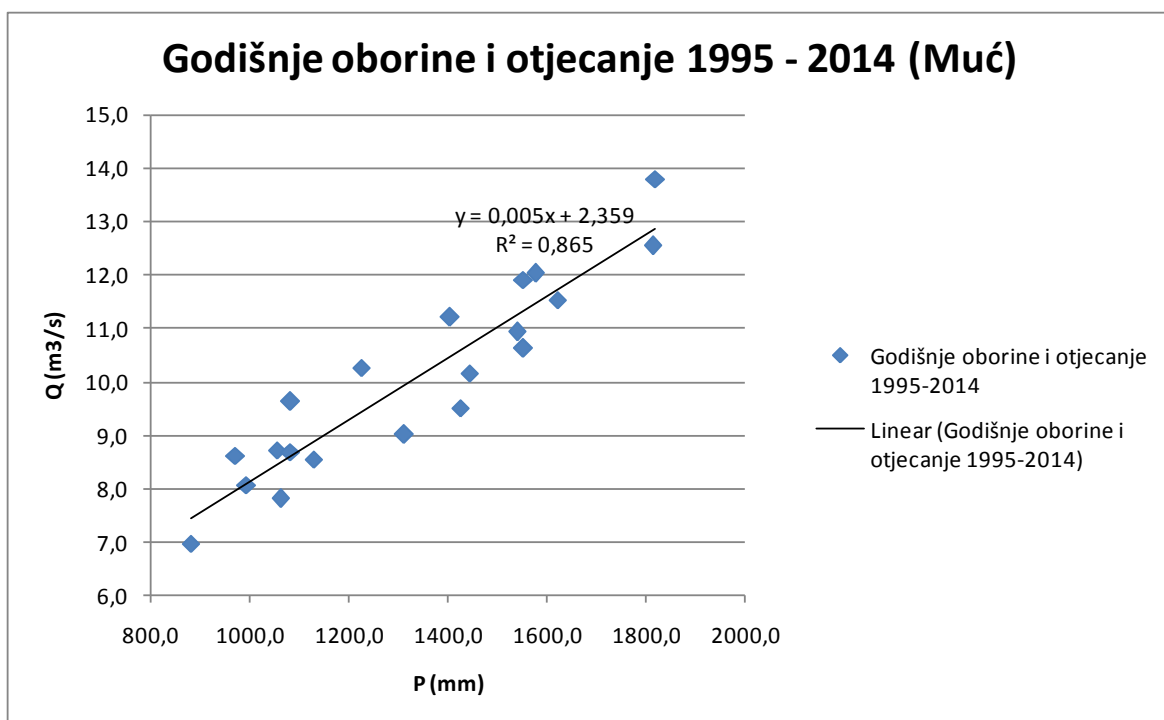
9.1. Linearna regresija Muć – Jadro i Dicmo – Jadro

U slučaju linearne regresije na godišnjoj razini na vezi Muć - Jadro govorimo o velikoj regresiji, odnosno velikoj povezanosti između oborina na godišnjoj razini te srednjih godišnjih protoka. Koeficijent regresije iznosi $R^2 = 0,865$ (slika 9.1.).

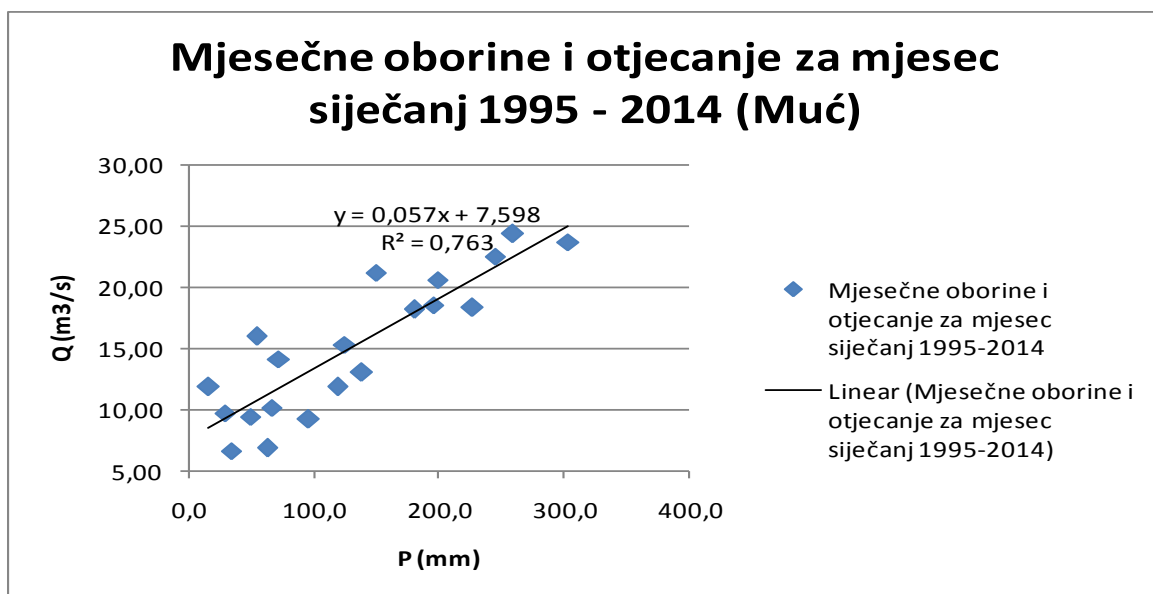
Ako promatramo regresiju na mjesečnoj razini na vezi Muć - Jadro, vidljivo je da koeficijent regresije za neke mjesece ima približnu vrijednost kao i regresija na godišnjoj razini (siječanj, ožujak, rujan, studeni i prosinac), dok za neke mjesece (svibanj, lipanj, srpanj i listopad) koeficijent regresije ima drastično manju vrijednost od godišnjeg (slike 9.2. – 9.13.).

Koeficijent regresije na dnevnoj bazi na vezi Muć - Dicmo iznosi $R^2 = 0,2$ (slika 9.14.) , iz čega je vidljiva vrlo loša povezanost među protocima i oborinama promatrajući dan po dan.

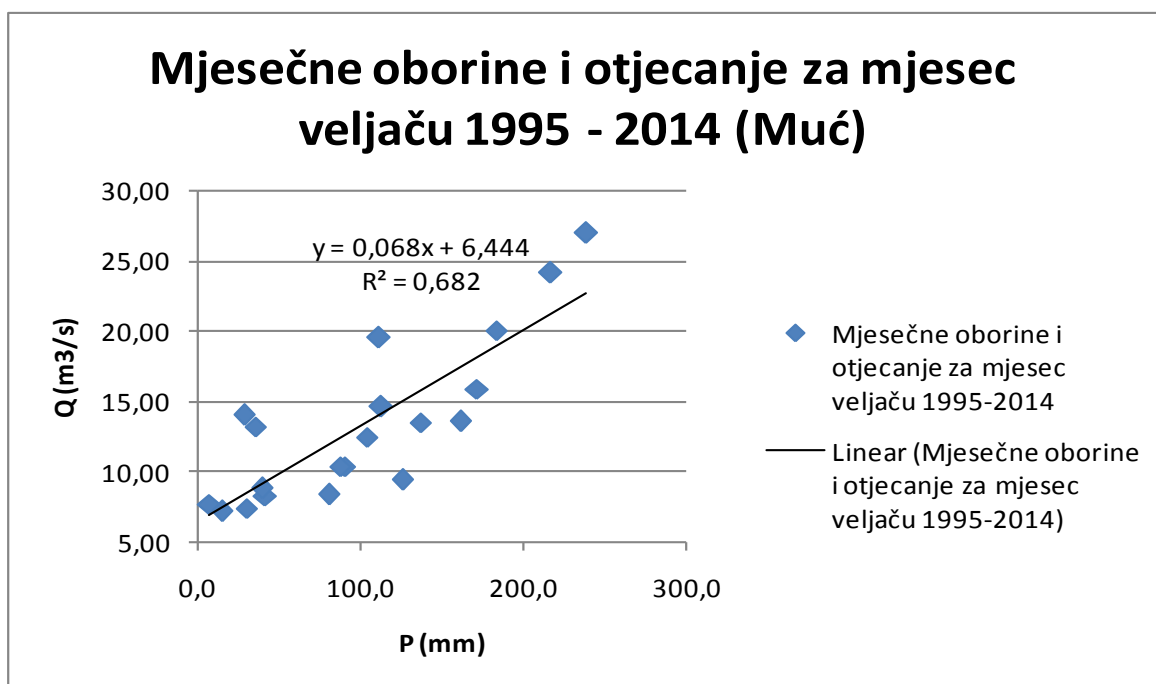
Osim godišnje regresije i nekih mjesečnih regresija koje imaju vrlo velik koeficijent korelacija, imamo jednako tako i nekoliko mjeseci za vrlo niskim koeficijentom korelacije, iz čega zaključujemo da na promatranom području postoje krški kanali. U studenom je ta veza relativno dobra, jer su krški kanali u velikoj mjeri popunjeni vodom s obzirom da je u prethodnim mjesecima bilo dosta oborina te u kratkom periodu nakon pada oborina dolazi do istjecanja, dok je recimo za srpanj potpuno obrnuta analogija. Sveukupno gledajući, regresija između oborina i protoka u ljetnim mjesecima nije i ne može biti dobra zbog toga što se prvo trebaju napuniti kanali, a tek onda slijedi istjecanje.



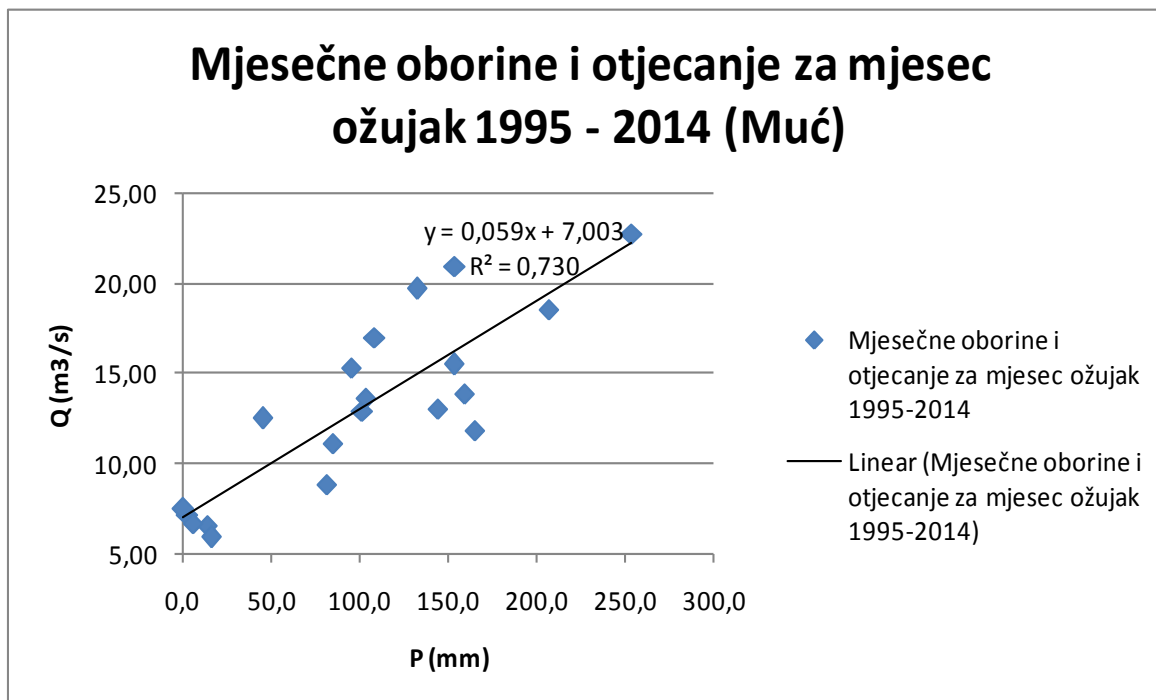
Slika 9.1. Regresija između godišnjih oborina i srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014.



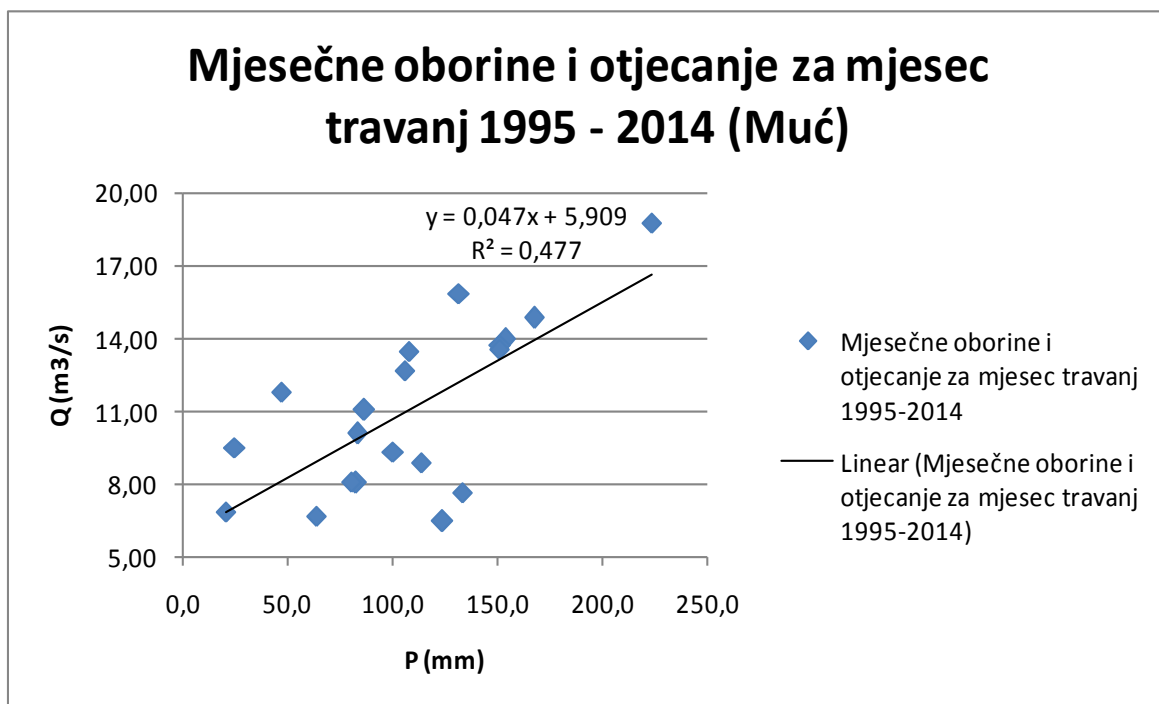
Slika 9.2. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec siječanj



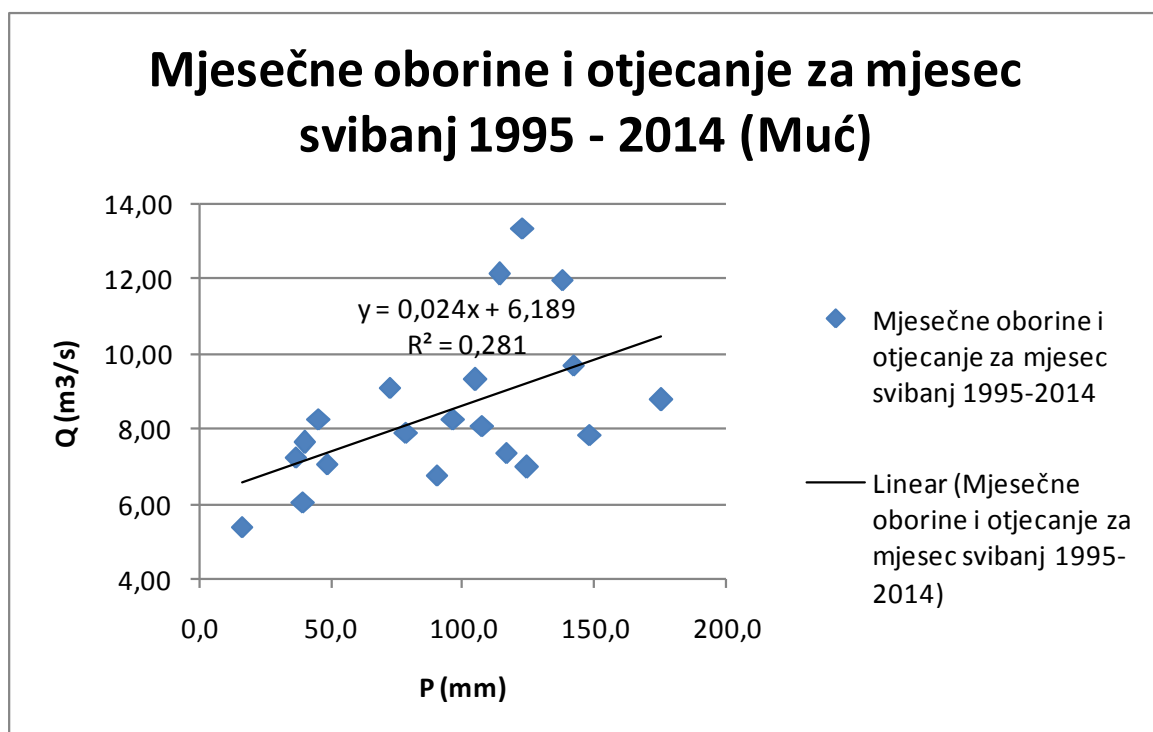
Slika 9.3. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec veljaču



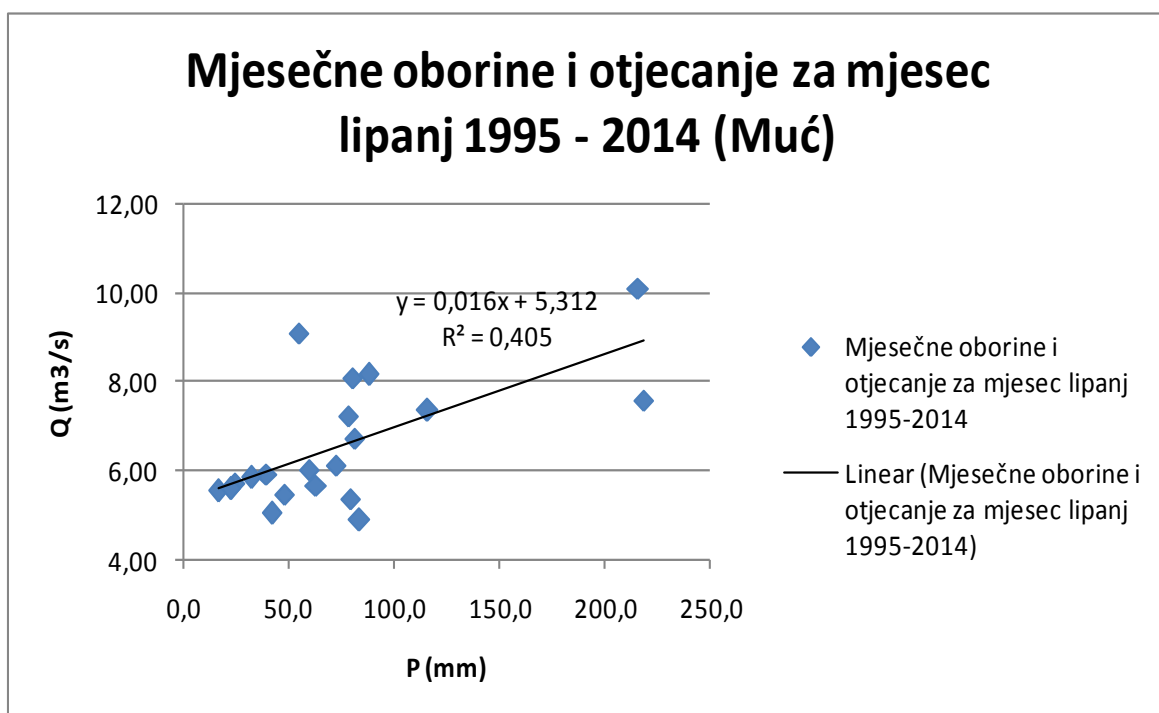
Slika 9.4. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec ožujak



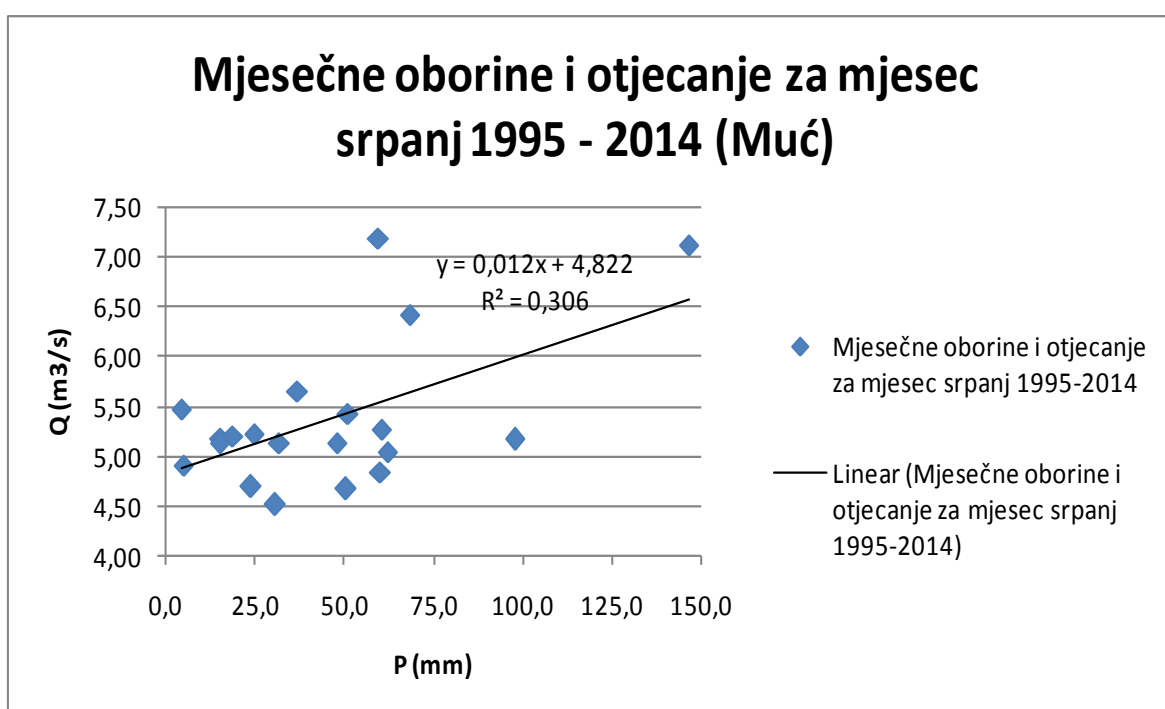
Slika 9.5. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec travanj



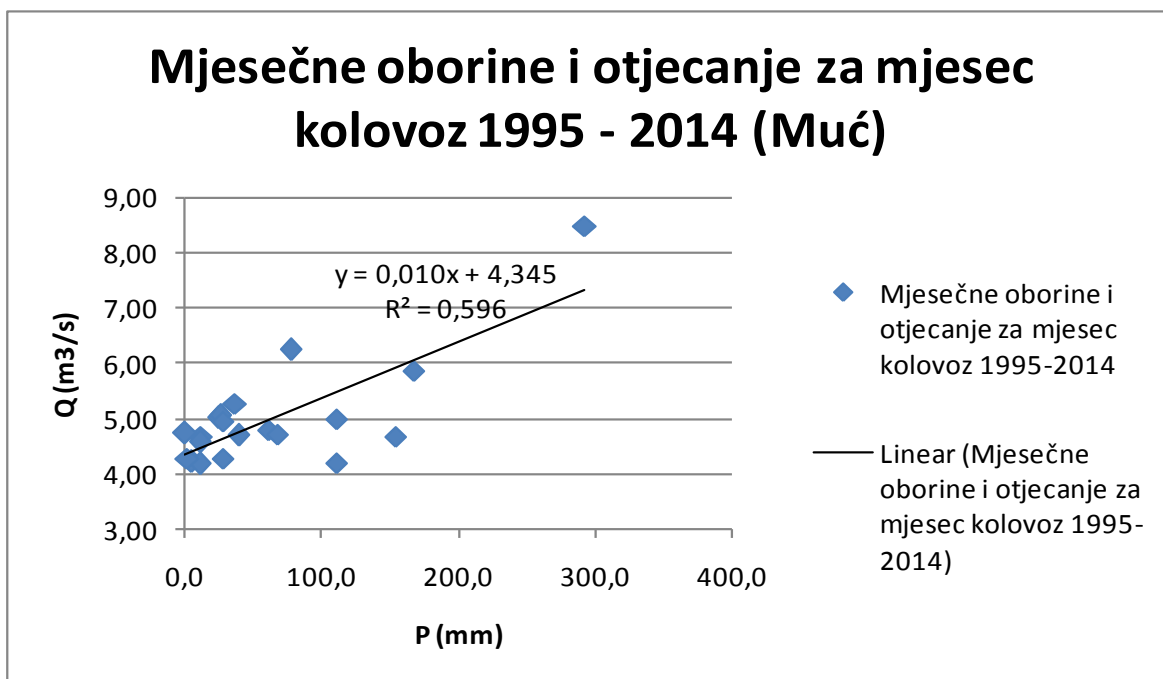
Slika 9.6. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec svibanj



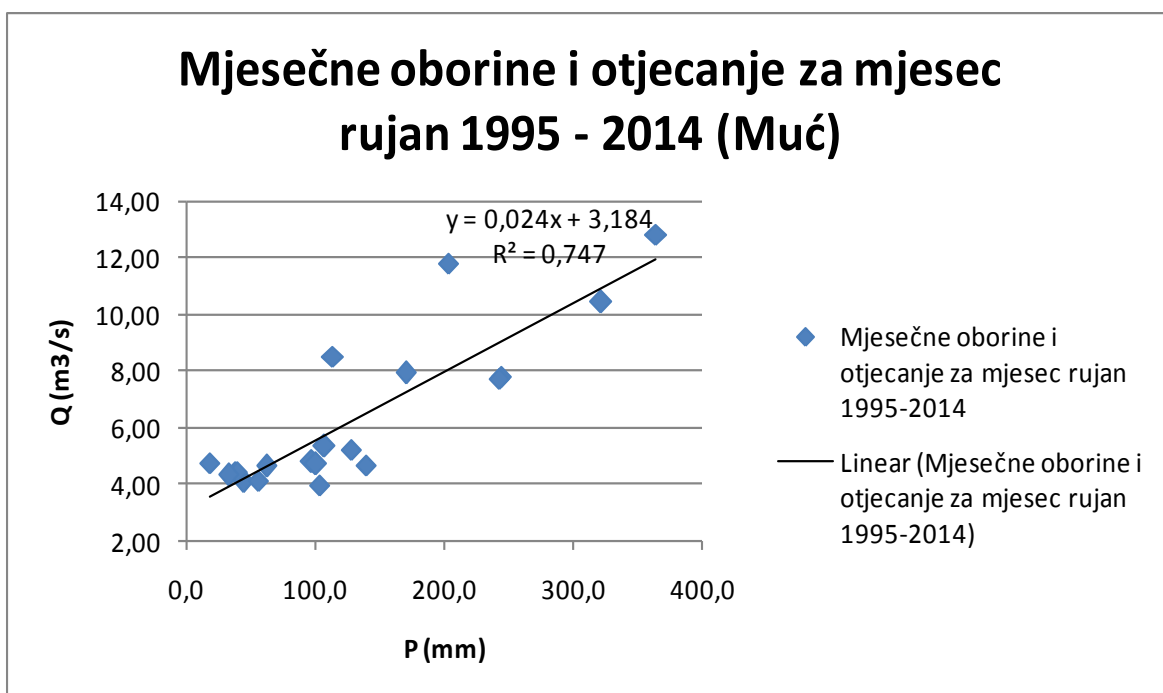
Slika 9.7. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec lipanj



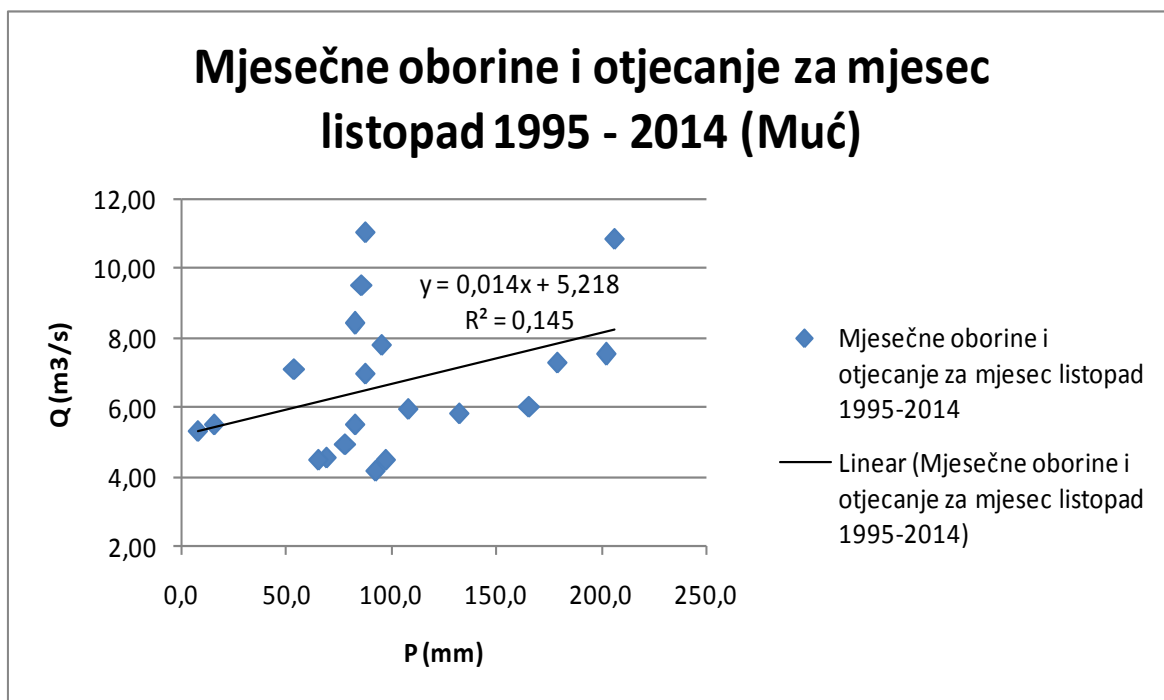
Slika 9.8. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec srpanj



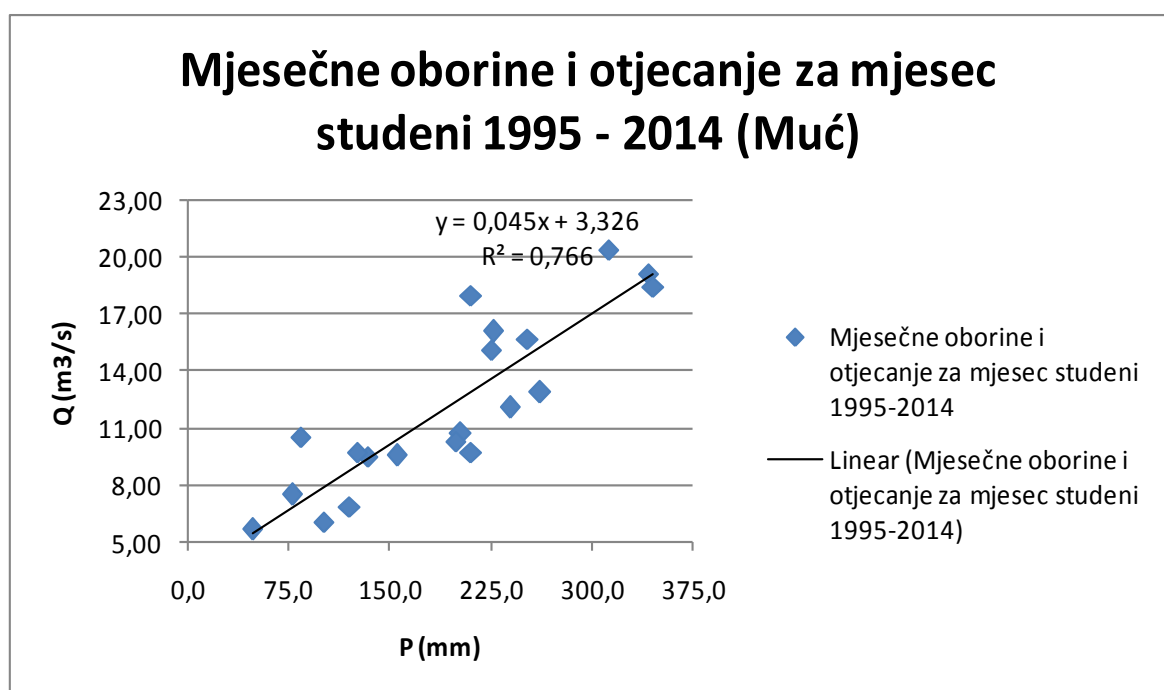
Slika 9.9. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec kolovoz



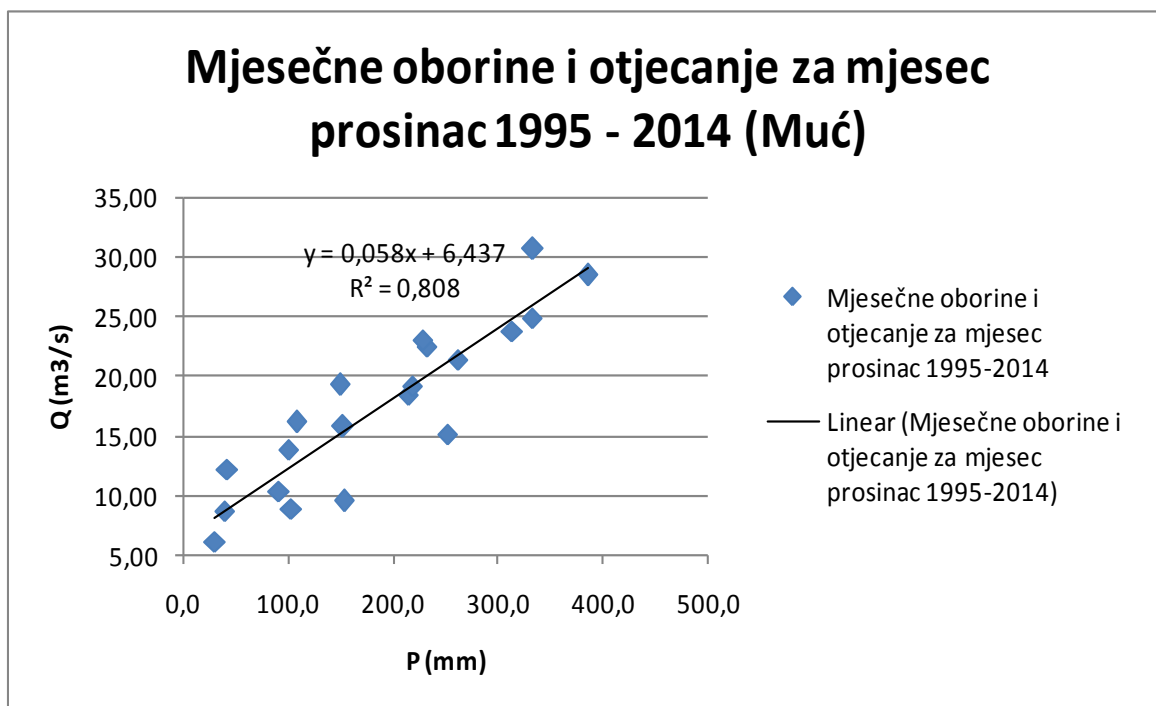
Slika 9.10. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec rujan



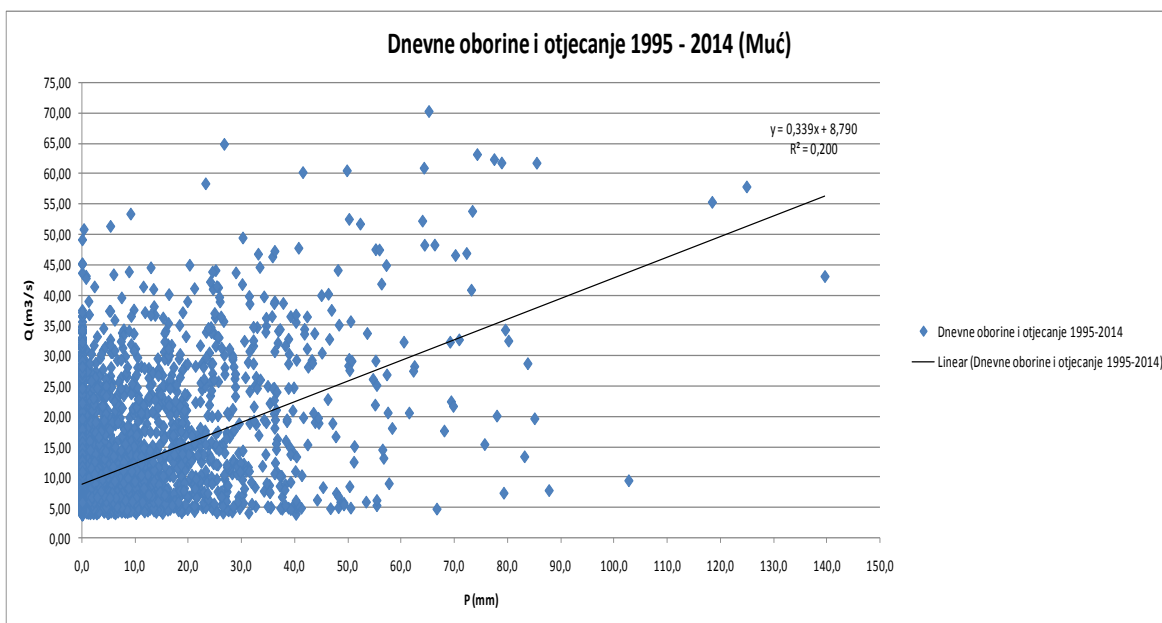
Slika 9.11. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec listopad



Slika 9.12. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec studeni



Slika 9.13. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec prosinac

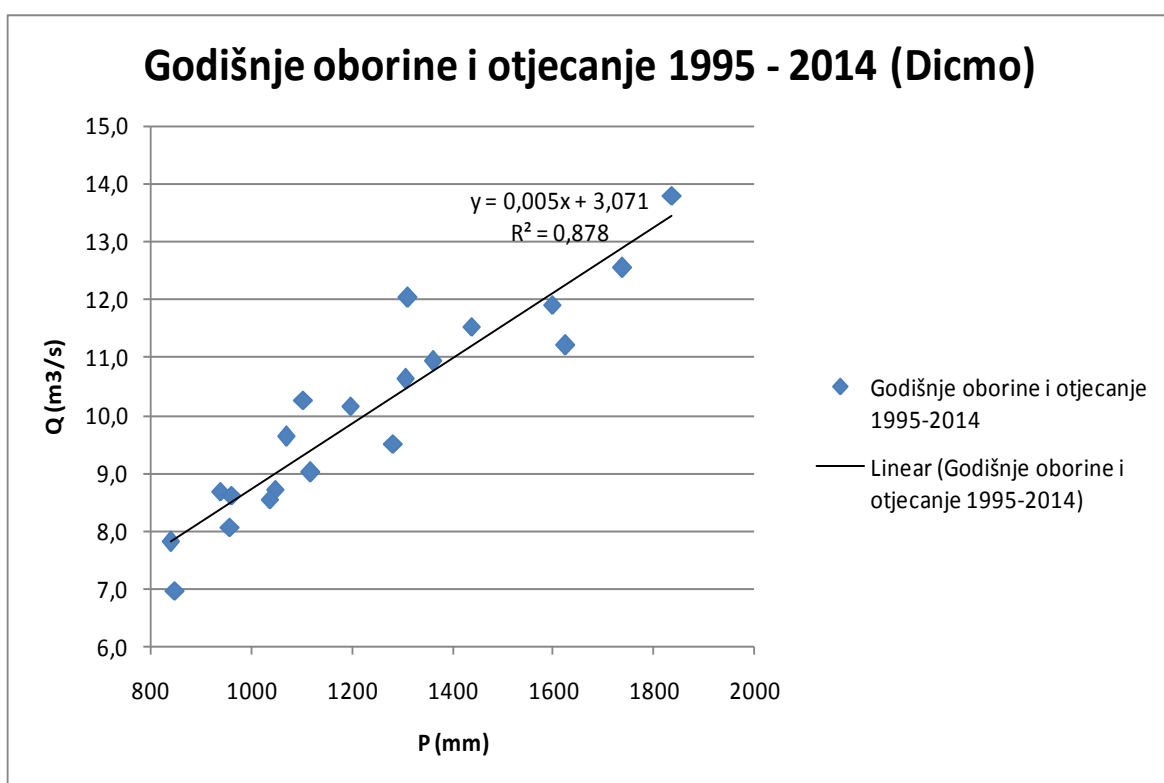


Slika 9.14. Regresija između dnevnih oborina i srednjih dnevnih protoka

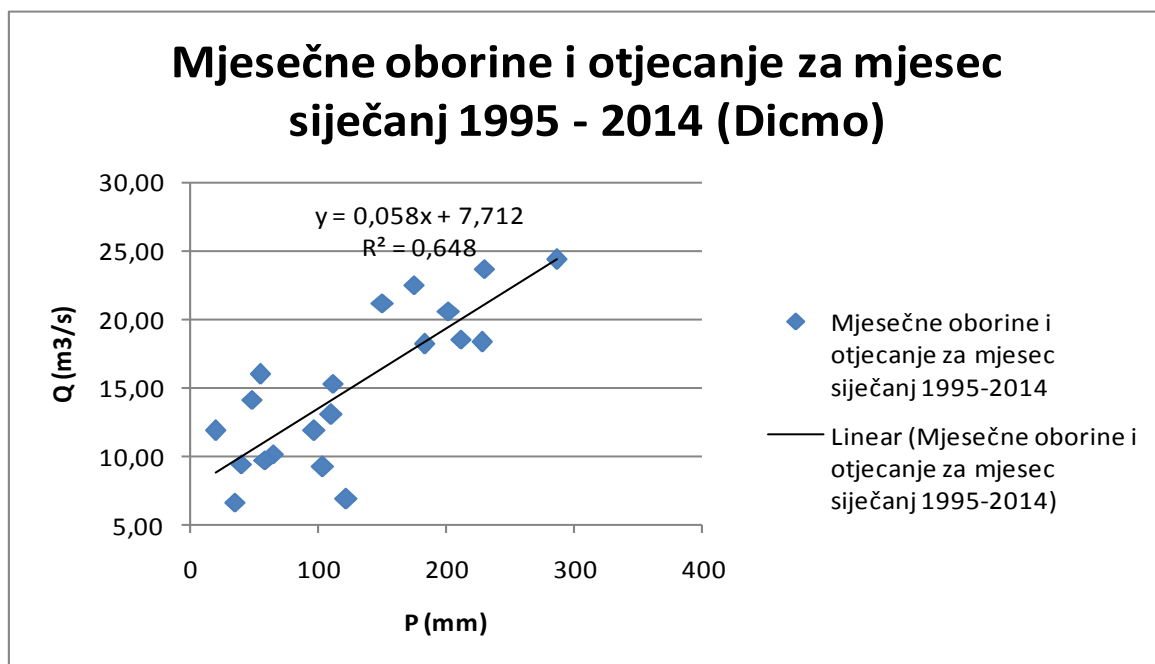
U slučaju linearne godišnje regresije na vezi Dicmo – Jadro govorimo o velikoj regresiji, odnosno povezanosti, između oborina i protoka. Koeficijent regresije iznosi $R^2 = 0,878$ (slika 9.15.).

Promatrajući mjesečnu linearnu regresiju na vezi Dicmo - Jadro vidimo da imamo različite rezultate koji se kreću od vrlo velike povezanosti (ožujak, studeni prosinac) gdje je $R^2 > 0,7$, pa sve do slabe ili nikakve povezanosti (srpanj, listopad) gdje je $R^2 < 0,3$ (slike 9.16. – 9.27.).

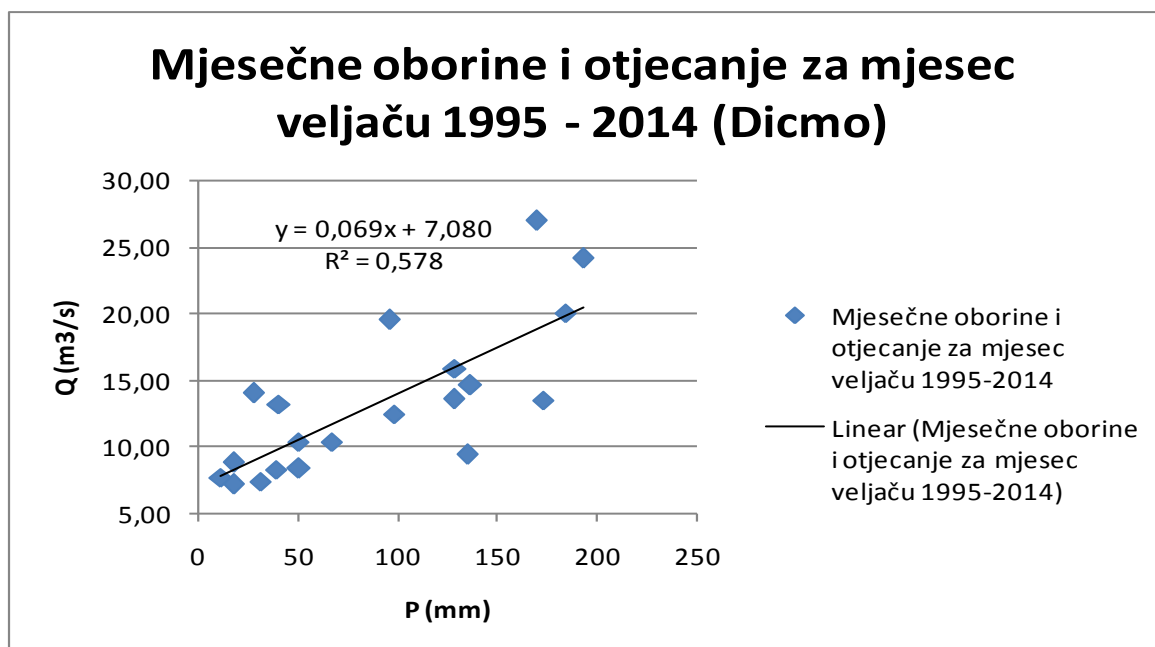
Koeficijent linearne regresije na dnevnoj bazi iznosi $R^2 = 0,192$ što ukazuje na gotovo nikakvu povezanost između dnevnih oborina i protoka (slika 9.28.).



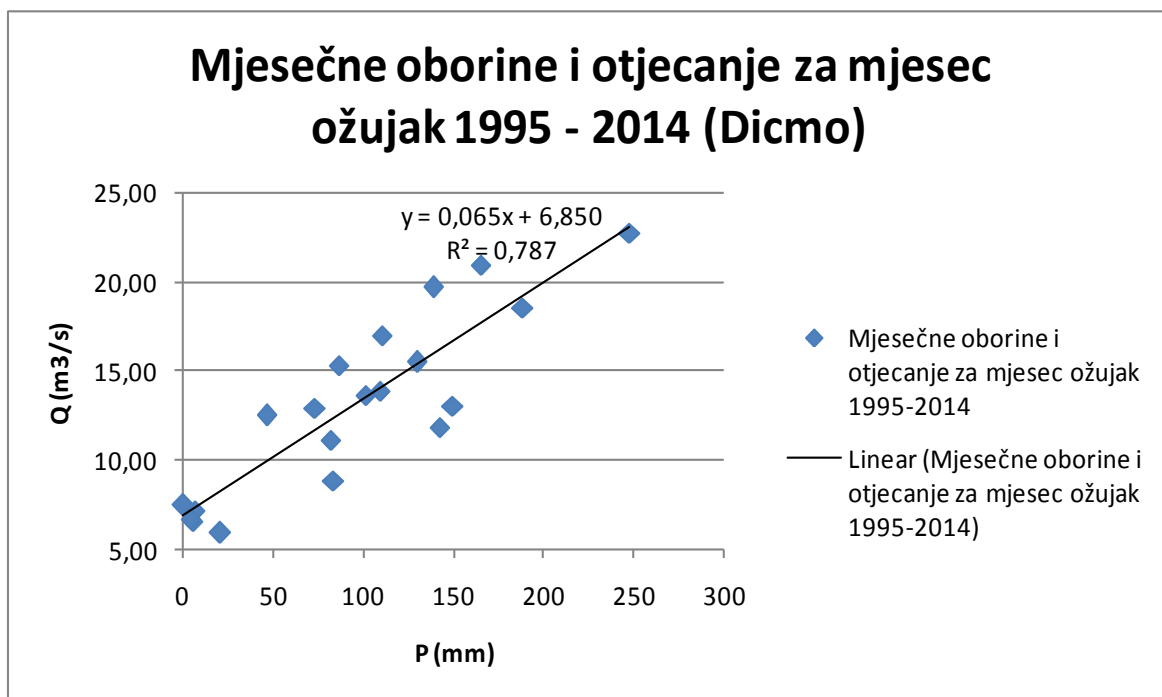
Slika 9.15. Regresija između godišnjih oborina i srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014.



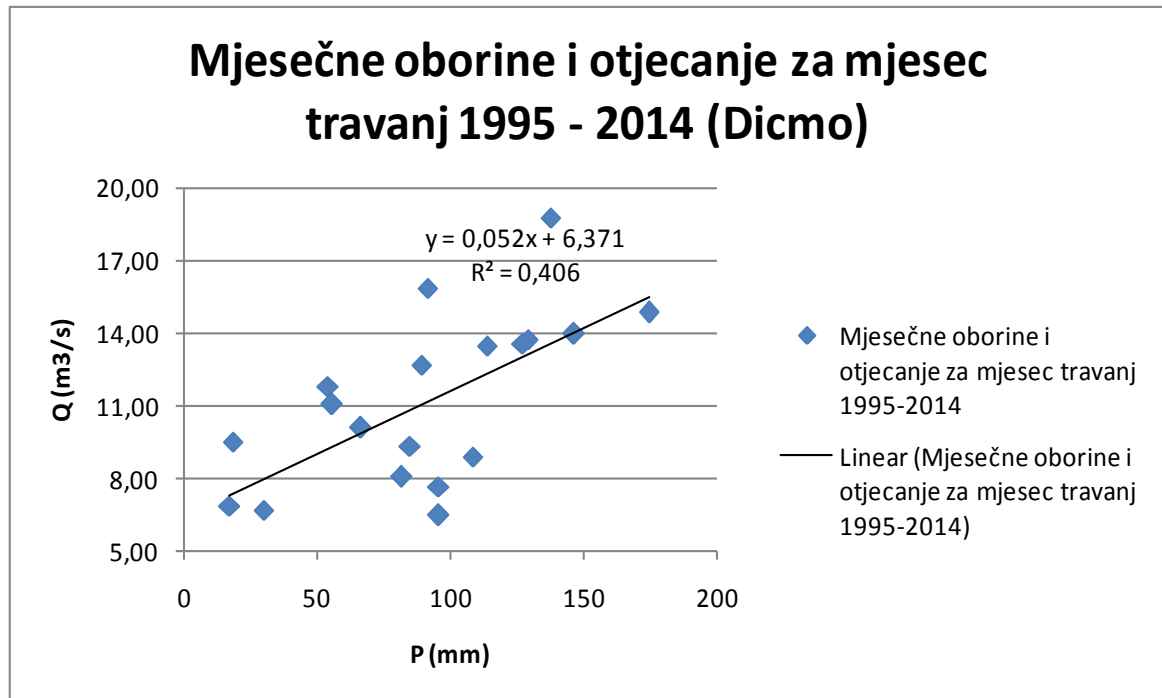
Slika 9.16. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec siječanj



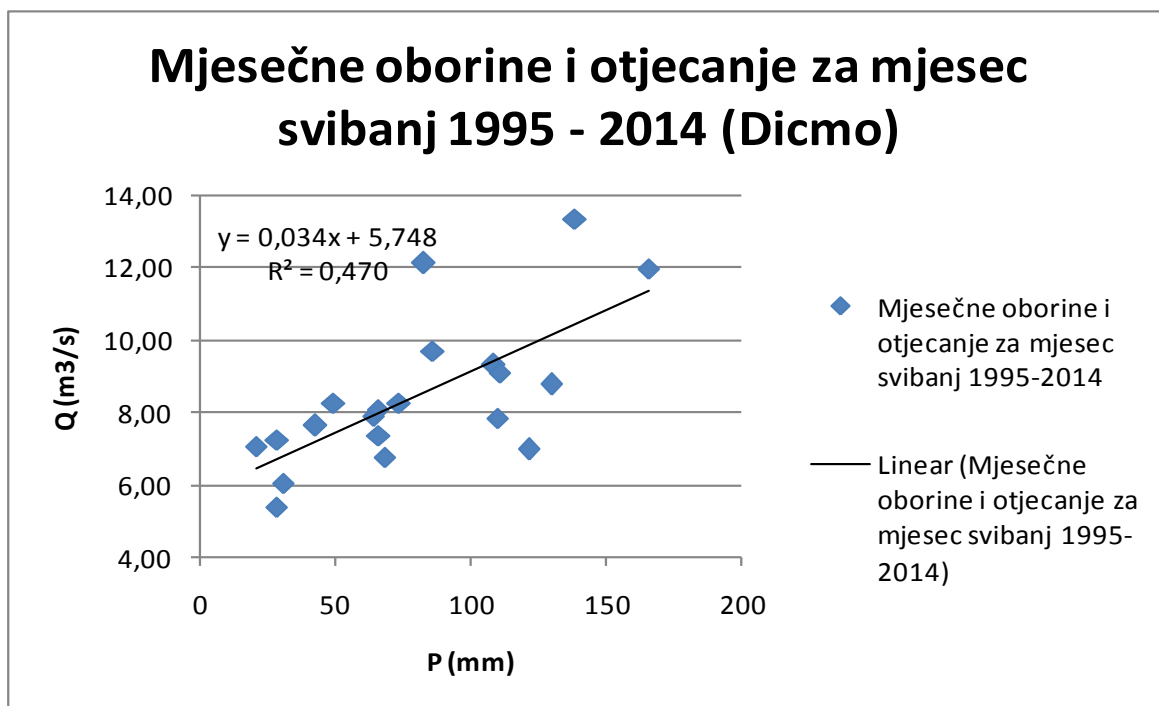
Slika 9.17. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec veljaču



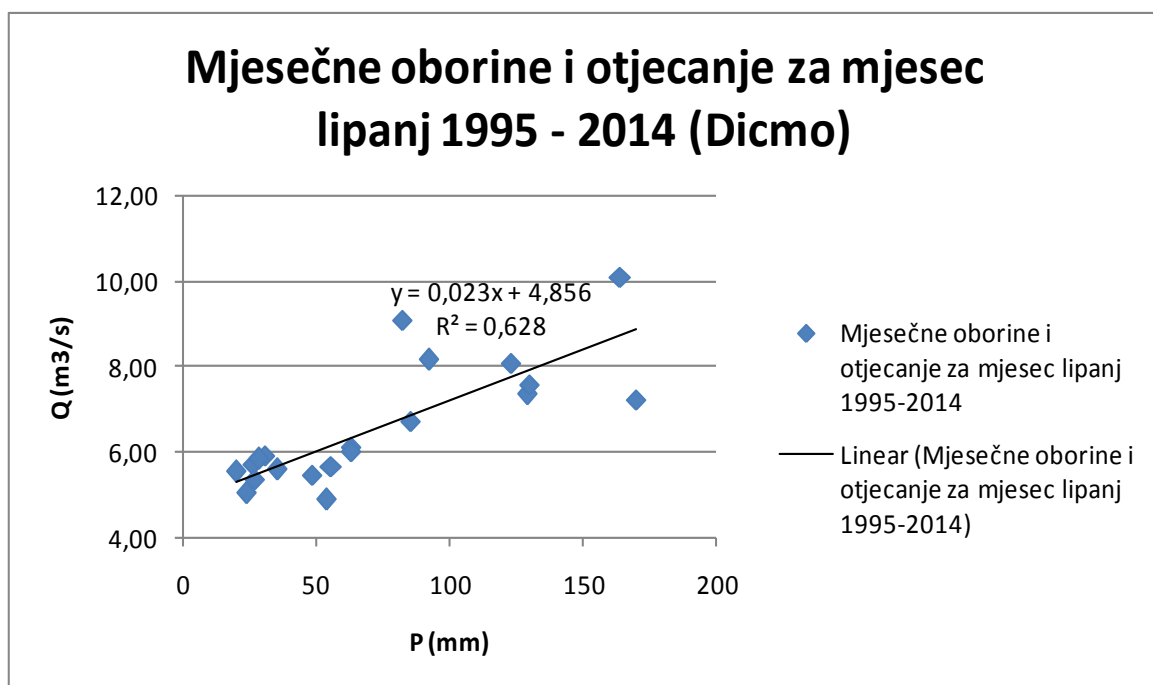
Slika 9.18. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec ožujak



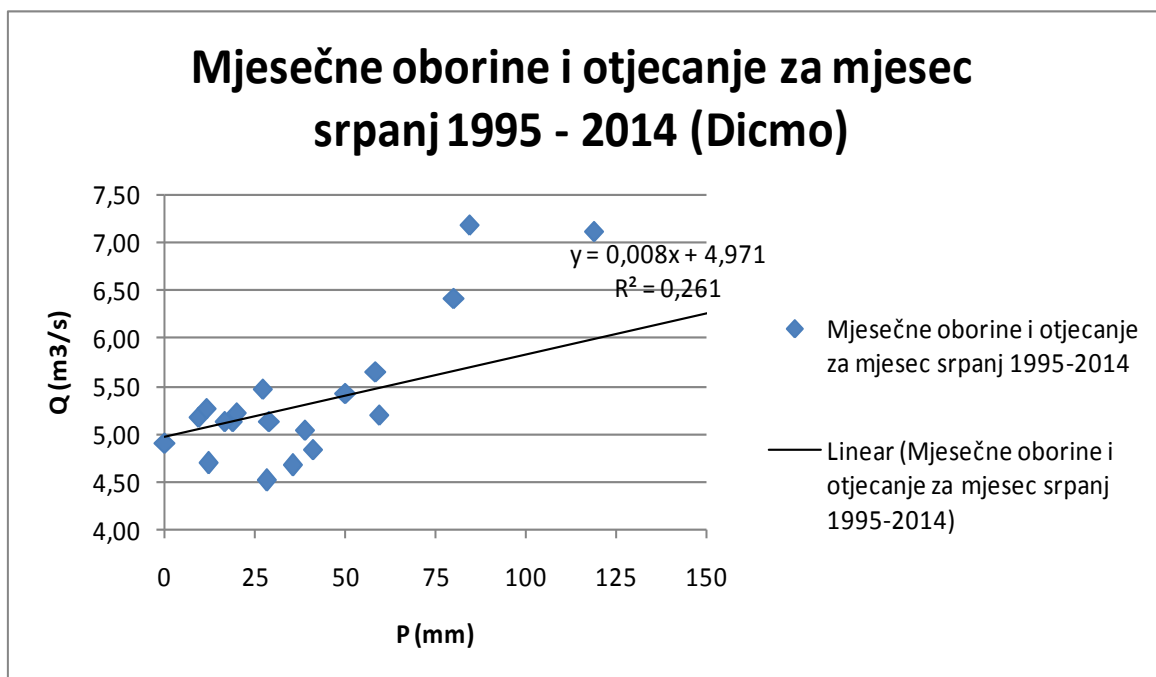
Slika 9.19. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec travanj



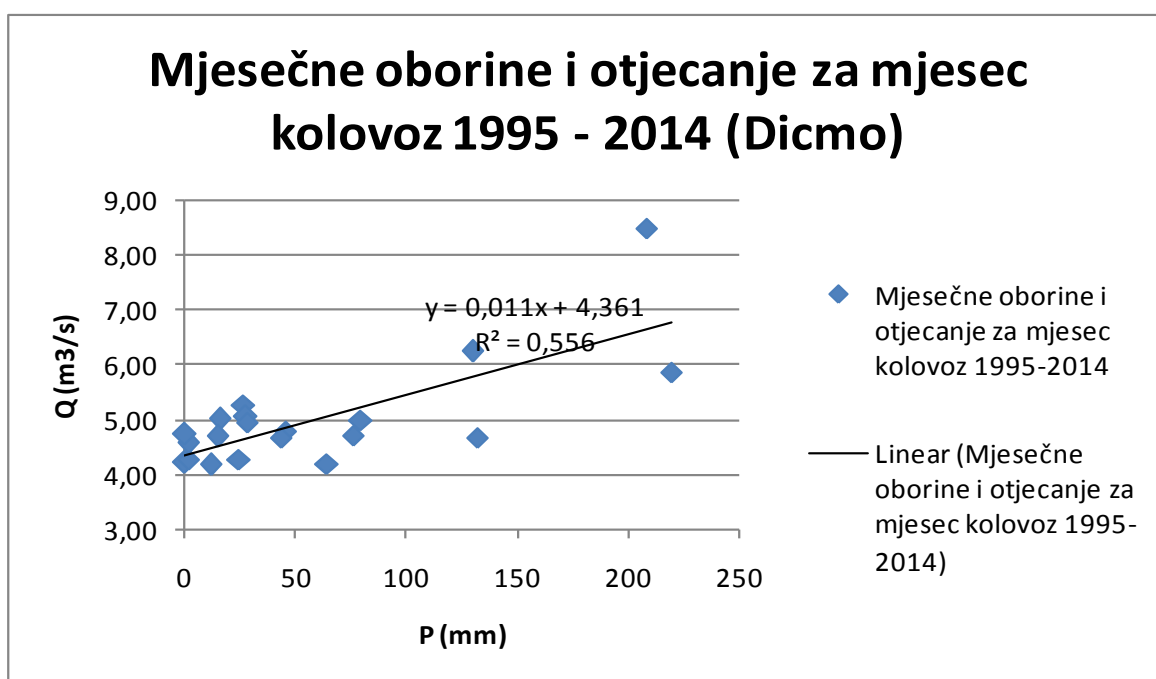
Slika 9.20. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec svibanj



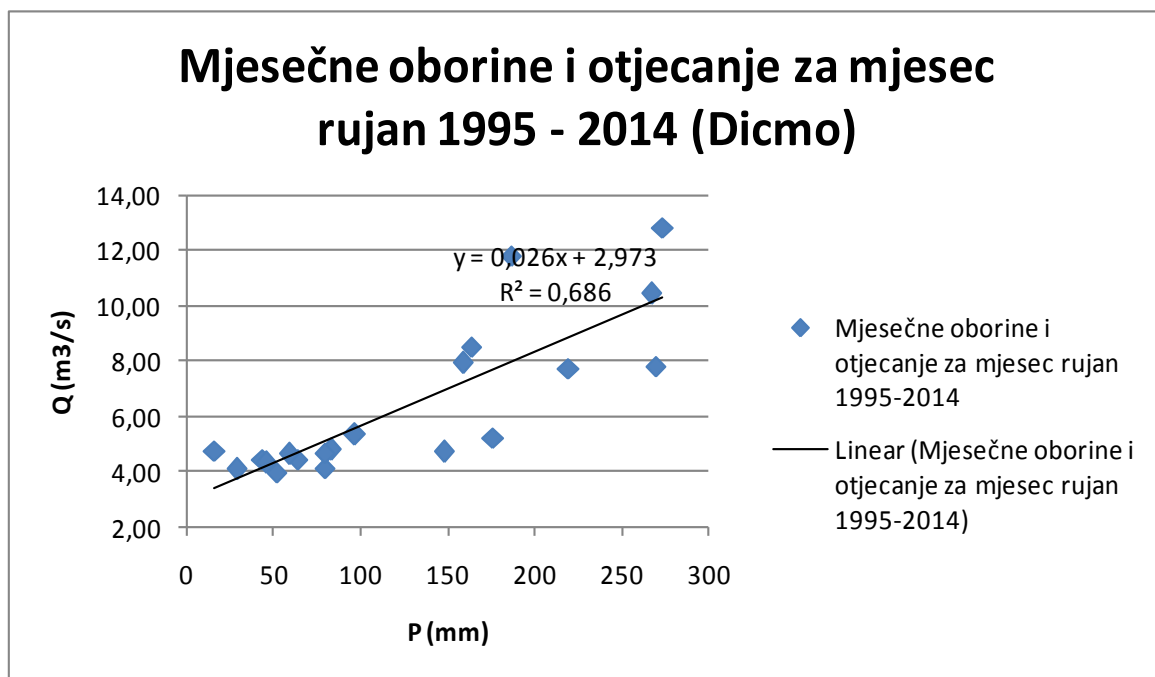
Slika 9.21. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec lipanj



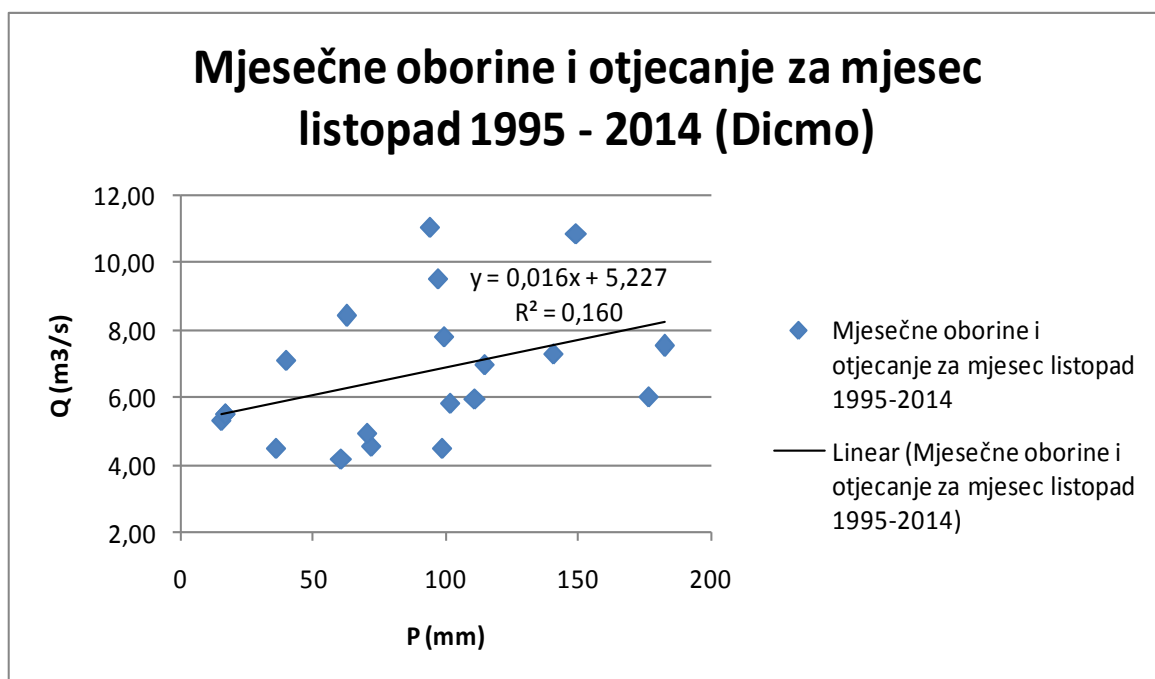
Slika 9.22. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec srpanj



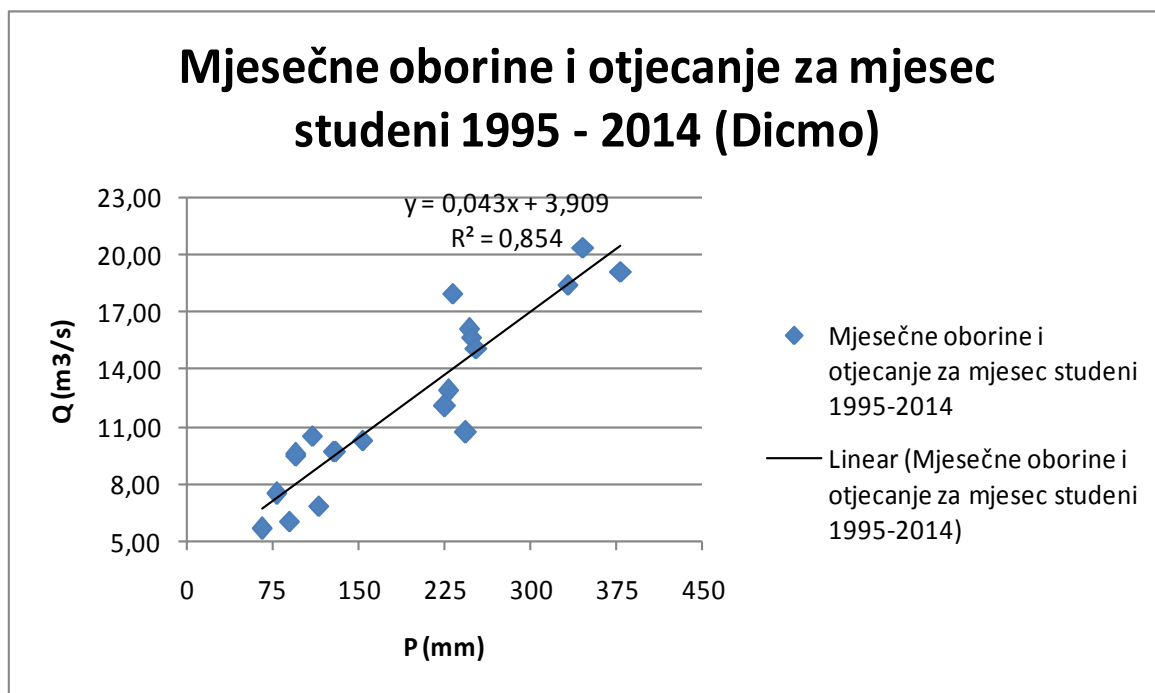
Slika 9.23. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec kolovoz



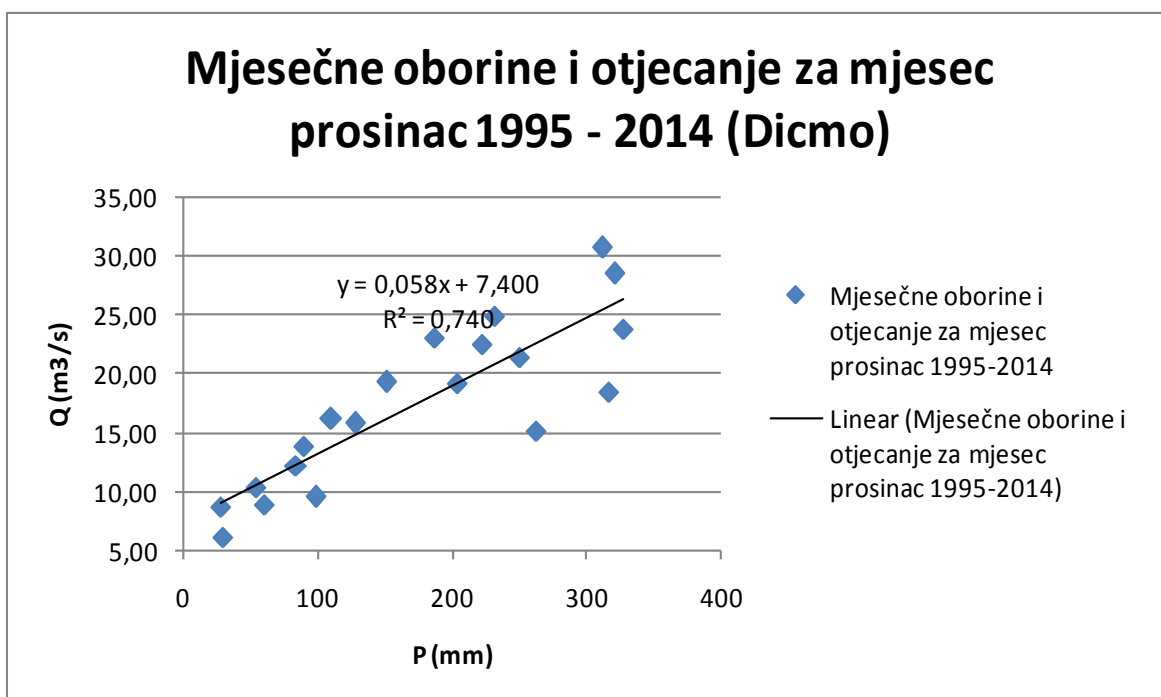
Slika 9.24. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec rujan



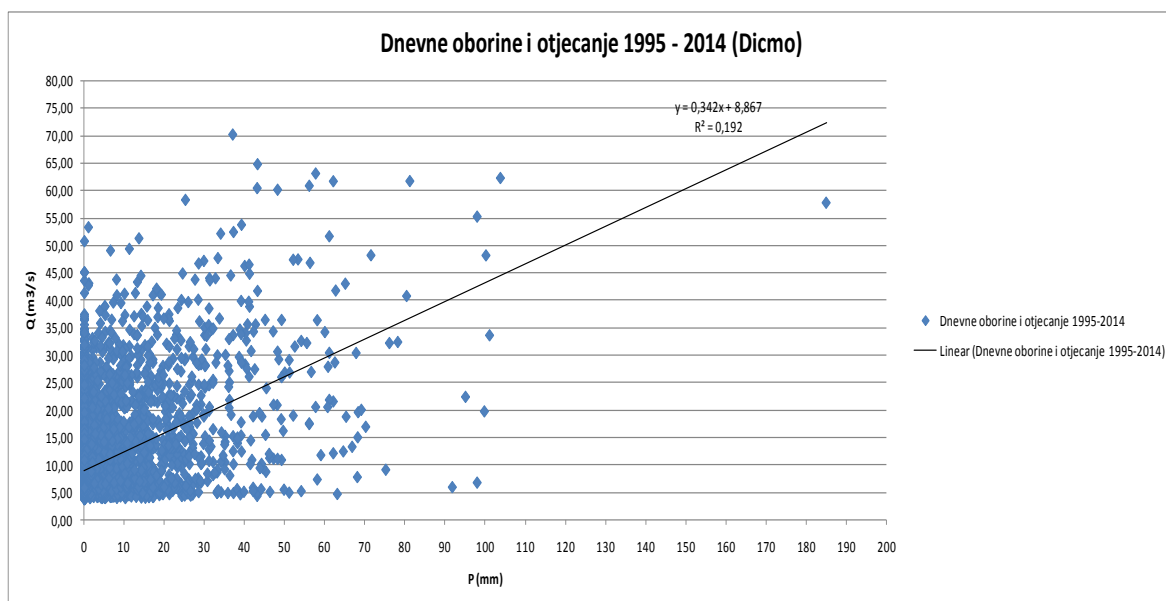
Slika 9.25. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec listopad



Slika 9.26. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec studeni



Slika 9.27. Regresija između mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih protoka za mjesec prosinac



Slika 9.28. Regresija između dnevnih oborina i srednjih dnevnih protoka

Uspoređujući rezultate linearne regresije za 2 analizirana slučaja, vidi se da su rezultati poprilično slični na godišnjoj, mjesečnoj i dnevnoj bazi. Točnije, svugdje gdje dobra povezanost oborina s Muća i protoka na izvoru, također je i dobra povezanost i oborina s Dicma i protoka na izvoru Jadr. Analogno ovome, svugdje gdje je loša povezanost vrijede jednaki zaključci kao i kod dobre povezanosti.

10. KROS – KORELACIJSKA ANALIZA

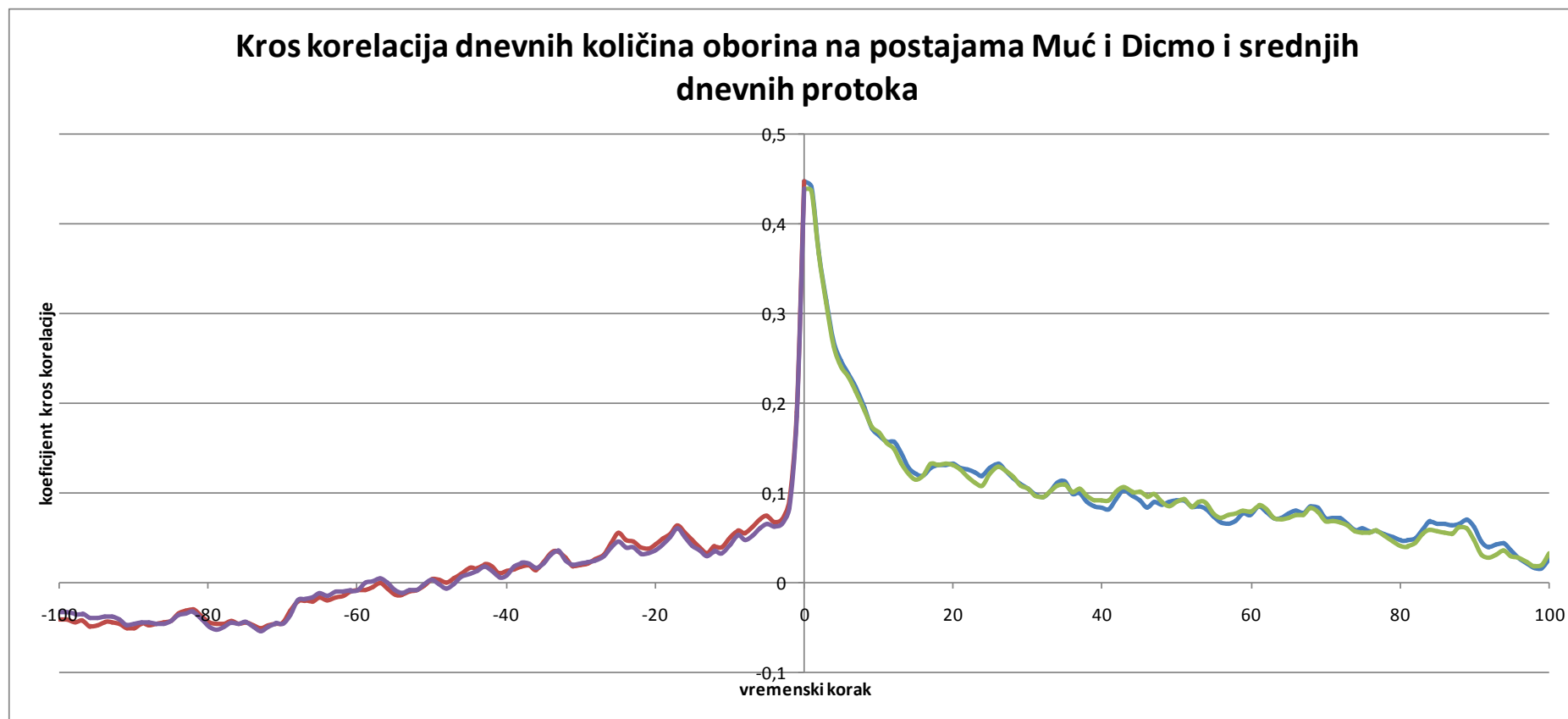
U ovom poglavlju ćemo se samo osvrnuti na grafove kros – korelacije između dnevnih oborina na postajama Muć i Dicmo, te protoka zabilježenih na izvoru Jadra. Svi detalji vezani za kros – koelacijsku funkciju (što je ona, kako se izračunava te čemu služi) su pobliže objašnjeni u poglavlju 2.5.

Ako promatramo vezu padalina o protocima (lijevi dio grafa na slici 10.1.) možemo uočiti da veza gotovo da i ne postoji, negdje čak ima i negativnu vrijednost, iz čega proizlazi zaključak da padaline nisu u vezi sa protocima te se svrstavaju u nezavisnu varijablu. Ako promatramo vezu protoka o padalinama (desni dio grafa na slici 10.1.) uočavamo da postoji zavisnost. Isto tako je vidljivo da pomicanjem vremenskog koraka ta veza postaje sve slabija i slabija, te će nakon n – tog vremenskog koraka i ta veza postati nebitna.

U ovom radu je korišten vremenski korak od 100 dana jer su predmet ove analize oborine i protoci u krškom području i nije bilo smisla produživati taj korak, kada se ionako uočava da se i u korištenom koraku korelacija približava 0 i tada postaje statistički beznačajna.

Vidljivo je kako se grafovi gotovo podudaraju, iz čega proizlazi zaključak da je gotovo jednaka ovisnost protoka na rijeci Jadro, o oborinama u Muću i u Dicmu.

Analizirajući desni dio funkcije, koji je očito i jedini važan, vidi se da brza komponenta otjecanja traje 15 dana, jer tada dolazi do naglog loma funkcije. Prvih 15 dana je očito puno jača kros – korelacijska veza među padalinama i protocima, iako ona postoji i nakon 15.–og dana.

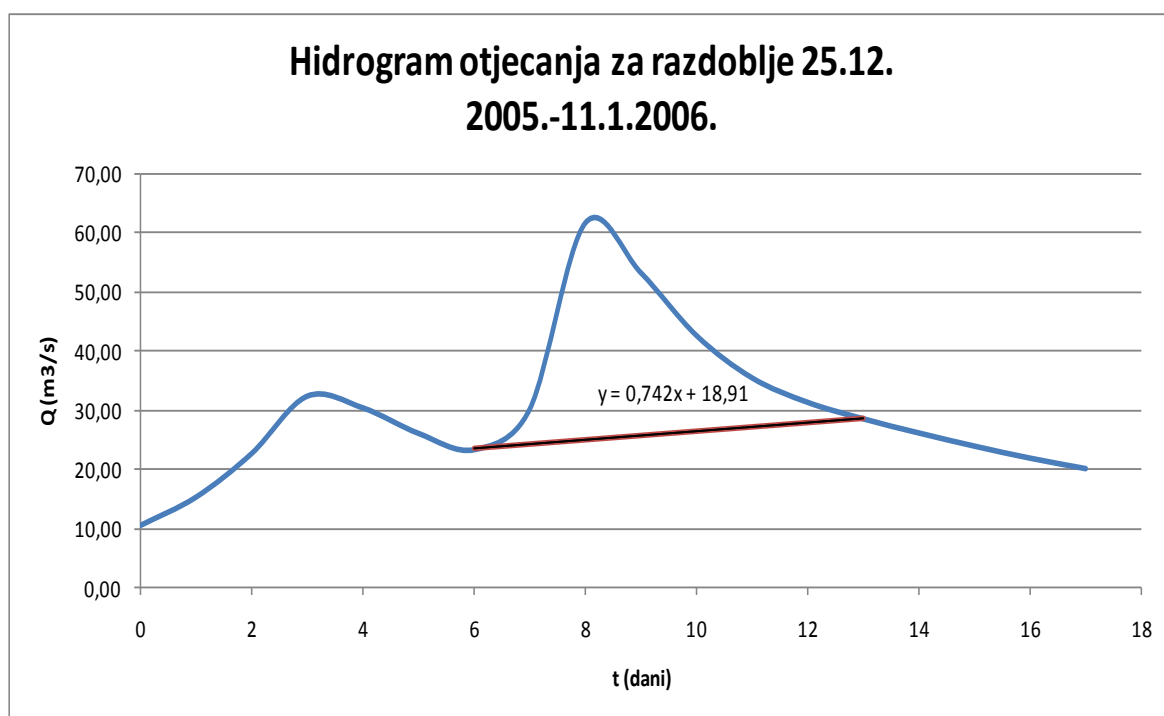


Slika 10.1. Kros – korelacijska funkcija između dnevnih oborina u Muću i Dicmu i srednjih dnevnih protoka

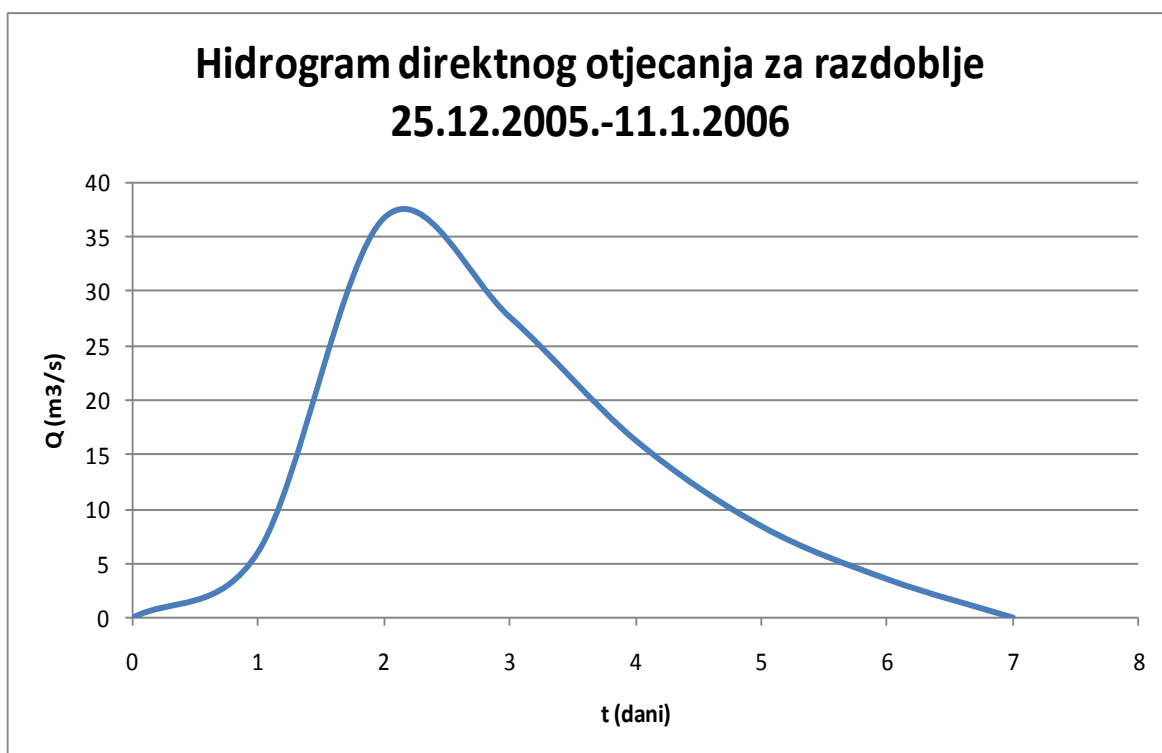
11. TRANSFER FUNKCIJE BRZE KOMPONENTE OTJECANJA

Ovo je specifično poglavlje u ovom diplomskom radu iz razloga što zadani zadatak nije bilo moguće do kraja napraviti, a cijeli postupak dobijanja transfer funkcije kao i razlozi zbog čega nije bilo moguće obaviti u potpunosti traženu analizu, u nastavku će biti detaljno razloženi.

Na početku je bilo potrebno odabrati povoljno razdoblje u godini koje će sadržavati i kišne dane, ali će također zahvaćati i recesijski dio hidrograma. Tada se može odrediti hidrogram otjecanja (slika 11.1.), te hidrogram direktnog otjecanja (slika 11.2.) za razdoblje unutar razmatranog hidrograma.



Slika 11.1. Hidrogram otjecanja za razdoblje 25.12.2005. – 11.1.2006.

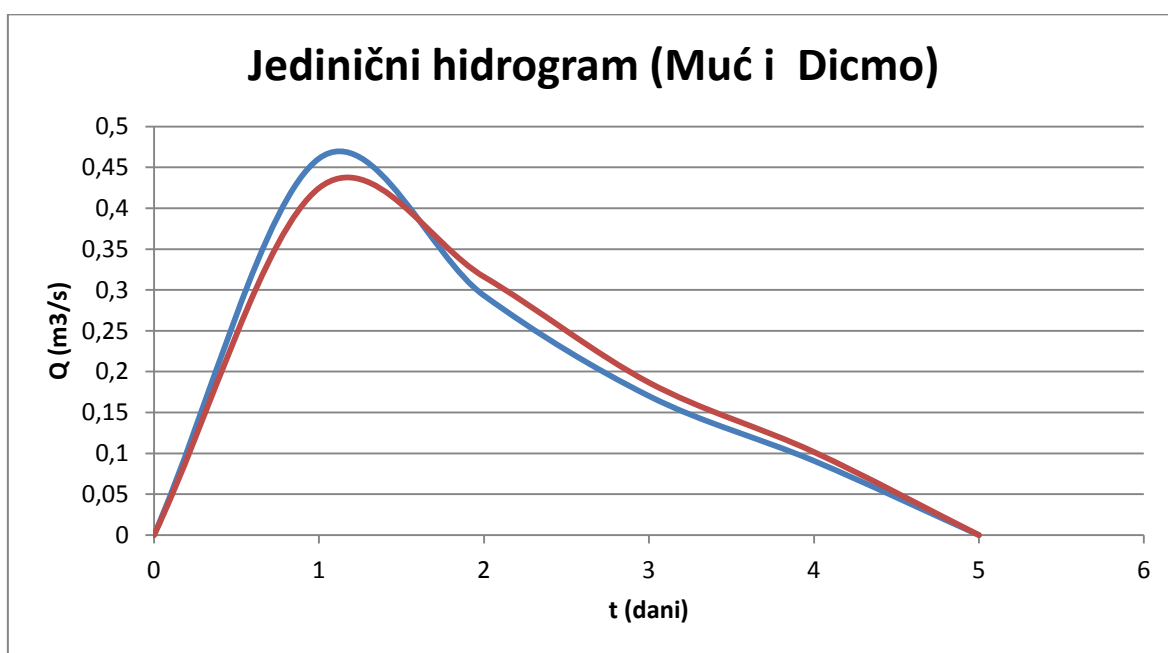


Slika 11.2. Hidrogram direktnog otjecanja za razdoblje 25.12.2005. – 11.1.2006.

Sada se metodom diskretne konvolucije i pomoću oborina koje su zabilježene u ovom razdoblju od hidrograma direktnog otjecanja dobila transfer funkcija brze komponente otjecanja, a transfer funkciju možemo poistovjetiti s jediničnim hidrogramom. Na slici 11.3. je prikazan jedinični hidrogram s 4 ordinate.

Iako bi ovaj postupak trebalo primjeniti na jedinični hidrogram sa 15 ordinata, jer toliko traje brza komponenta otjecanja kod izvora Jadra, to nije bilo moguće napraviti zbog toga što su rezultati analiza pokazali da postoji vrlo slaba linearna veza između oborina i otjecanja te su stoga oblici dobivenih transfer funkcija vrlo nepravilnog oblika te nemaju hidrološki značaj. Iz tog razloga je pri određivanju transfer funkcija potrebno koristiti metode minimiziranja pogreške.

Iako je sa slike 11.3. vidljivo da se jedinični hidrogrami s 4 ordinate gotovo preklapaju za dvije postaje, zbog nemogućnosti da konstruiramo jedinični hidrogram s 15 ordinata, zbog navedenih razloga, možemo samo pretpostaviti da bi došlo do sličnog preklapanja i za jedinični hidrogram s bazom od 15 dana.



Slika 11.3. Jedinični hidrogram - Muć i Dicmo

12. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA I ZAKLJUČAK O HIDROLOŠKIM VEZAMA

Analizom godišnjih oborina i istjecanja na zadanim postajama definirana je najveća oborina $P_{\max} = 1836,4$ mm kao i najmanja $P_{\min} = 838,3$ mm, a obje su zabilježene na oborinskoj postaji Dicmo. Najveći srednji godišnji protok iznosio je $13,8 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je najmanji iznosio $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Uspoređujući dvije analizirane postaje, vidi se da postoji linearni trend koji pokazuje rast oborina na obje postaje i to otprilike u jednakom omjeru. Trend ne može biti prihvaćen kao pouzdano objašnjenje godišnjih oborina zbog relativno kratkog vremenskog perioda koji je analiziran. Isto tako, izračunate su vrijednosti 13 statističkih karakteristika oborina i protoka, koji su nam još jednom pokazali usku vezu između dvije oborinske postaje i protoka, zbog sličnosti rezultata.

Iz hoda mjesečnih oborina vidi se da srednja vrijednost mjesečnih oborina (P_{sred}) bilježi konstantan pad od početka godine do srpnja, a onda prema kraju godine raste. Jednaki trend vrijedi za obje oborinske postaje. Također, analizom se primjećuje da su očekivane vrijednosti mjesečnih oborina, i za Muć i za Dicmo, u razredu 0 – 250 mm. Najveća zabilježena mjesečna oborina u Muću je iznosila $P_{\max} = 384,3$ mm, a u Dicmu $P_{\max} = 378,9$ mm. Prateći minimume vidi se da su neki mjeseci bili bez oborine na obje postaje. Analogno tome, govoreći o hodu mjesečnih protoka raspon vrijednosti se kreće od najmanjeg $Q_{\min} = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ koji je zabilježen u rujnu 2003., do najvećeg $Q_{\max} = 30,7 \text{ m}^3/\text{s}$ u prosincu 2008.

Analizom dnevnih količina istjecanja na izvoru, dolazi se do zaključka da se događa naglo opadanje protoka, što i nije iznenađenje s obzirom da se radi o krškom području. Većinu protoka na Jadru predstavljaju protoci $3,5 - 9,5 \text{ m}^3/\text{s}$, dok protoka iznad $60 \text{ m}^3/\text{s}$ gotovo da i nema. Što se tiče dnevnih oborina rezultati su pokazali kako na ovom području (na obje analizirane postaje) većinu dnevnih oborina čine one do 10 mm. U nešto manjem, ali još uvijek značajnom postotku su oborine 10 – 20 mm, dok oborina iznad 80 mm gotovo da i nema. Iako duljina kišnih dana nije analizirana, iz samih tablica se može vidjeti da je maksimalan broj relevantnih kišnih dana 6. Negdje je broj i veći, ali ta razdoblja su zanemariva.

Nakon godišnje, mjesečne i dnevne analize te međusobnom usporedbom rezultat koji su dobiveni na dvije mjerne postaje primjetna je vrlo velika sličnost među njima. Primjećuje se da su statističke razlike među njima minimalne, a to je dodatno potvrđeno regresijskom i kros – korelacijskom analizom. Iako nismo analizirali direktno ove dvije postaje zajedno (njihovu povezanost), analizirali smo ih s protocima na izvoru, a rezultati su približno isti.

Regresijska analiza je pokazala da postoji vrlo jaka veza između protoka i oborina na godišnjoj razini (Muć – $R^2 = 0,865$, Dicmo – $R^2 = 0,878$), dok na mjesečnoj razini to i nije uvijek slučaj. Vodeći se kriterijem dobrote korelacijske veze ($R^2 > 0,7$) uočeno je da u Muću za mjesec siječanj, ožujak, rujan, studeni i prosinac je veza dobra, a za ostale mjesec da nije. Analogno tome, za Dicmo je uočeno da za mjesec ožujak, studeni i prosinac postoji jako dobra povezanost, dok za ostale mjesec to ne vrijedi. Vidi se da postoji nešto bolja povezanost na mjesečnoj bazi kod Muća, u odnosu na Dicmo.

Kros – korelacijska analiza dnevnih oborina i srednjih dnevnih protoka pokazala je da su protoci zavisni o oborinama, ali s povećanjem vremenskog koraka i ta veza postaje beznačajna. Analizirajući kros – korelaciju između oborina i protoka, uočava se da postoji nešto bolja povezanost s Mućem nego s Dicmom.

13. LITERATURA

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Krš>
- [2] O. Bonacci, "Karst hydrology"
- [3] O. Bonacci, "Oborine glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus", Split 1994.
- [4] N. Krešić, Z. Stevanović, "Groundwater hydrology of springs"
- [5] V. Denić-Jukić, "<http://www.gradst.hr/Portals/9/docs/katedre/Hidrologija/P8.pdf>"
- [6] N. Ožanić, "https://portal.uniri.hr/system/resources/docs/000/001/741/original/Predavanja_FERETI%C4%86-HIDROTEHNIKA.pdf?1389667025"
- [7] H. Hrelja, "Inženjerska hidrologija", Sarajevo: Građevinski fakultet univerziteta u Sarajevu, 2007
- [8] D. Mihelčić, R. Lalić, "Vodoopskrbni sustav Split - Solin - Kaštela - Trogir" (Građevinar 56 (2004) 6, 329-339)
- [9] J. B. Labetić, „Analiza hidrološkog režima izvora Jadrā“, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, 2014.
- [10] www.vmg.hr/ostale-znamenitosti/jadro.html
- [11] <https://sr.wikipedia.org/wiki/Histogram>
- [12] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/Linear_regressionio
- [13] http://hikom.grf.bg.ac.rs/web_stranice/KatZaHidr/Predmeti/Hidrologija/zad15-3.gif
- [14] https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRQ46g_Qv0_m0Mdw
- [15] <http://www.ijf.hr/upload/big/laf.jpg>
- [16] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Kanjon_Cetine_\(Croatia\).jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Kanjon_Cetine_(Croatia).jpg)
- [17] http://web.hamradio.hr/9aff/9AFF-067_Jadro/jadro1.jpg
- [18] https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRIOFb2Rskqxf_UgvuQE_ToCbJ2k3Nd2RP0UCtuW3ob6BlnUgDHHQ

