

# Usporedba hidroloških režima izvora Jadra i Žrnovnice

---

Jadrić, Jelena

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:595215>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-09**



*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**

**Jelena Jadrić**

**Split, 2016.**

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

**Jelena Jadrić**

**Usporedba hidroloških režima izvora Jadra i  
Žrnovnice**

**Diplomski rad**

**Split, 2016.**

# Usporedba hidroloških režima Jadra i Žrnovnice

## ***Sažetak:***

U radu je prikazana analiza i usporedba hidroloških režima krških izvora Jadra i Žrnovnice na osnovu podataka o srednjem dnevnim protocima za razdoblje 1995.-2014. Hidrološka analiza sadržava analizu godišnjih, mjesečnih i dnevnih količina istjecanja na navedenim izvorima te analizu recesijskih krivulja, modularnih koeficijenata i korelacijsku analizu.

## ***Ključne riječi:***

hidrologija krša, izvor Jadra, izvor Žrnovnice, analiza protoka, krivulja recesije, korelacija

## **Comparison of the hydrological regimes of the springs Jadro and Žrnovnica**

## ***Abstract:***

This thesis presents an analysis and comparison of the hydrological regimes of the karst springs Jadro and Žrnovnica based on the data on the mean daily flow rates for the period of time from 1995.-2014. The hydrological analysis contains the analysis of yearly, monthly and daily amounts of leakage on the springs stated as well as the analysis of the hydrograph recession curves and modular coefficients, and correlation analysis.

## ***Keywords:***

karst hydrology, Jadro spring, Žrnovnica spring, flow analysis, recession curve, correlation

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA  
KANDIDAT: Jelena Jadrić  
BROJ INDEKSA: 537  
KATEDRA: **Katedra za hidrologiju**  
PREDMET: Hidrologija krša

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Usporedba hidroloških režima izvora Jadra i Žrnovnice

Opis zadatka: Na osnovu podataka o srednje dnevnim protocima za razdoblje 1995.-2014., potrebno je analizirati i usporediti hidrološke režime krških izvora Jadra i Žrnovnice. Diplomski rad sadržava: matematičku osnovu provedenih analiza, analizu godišnjih količina istjecanja na izvorima (vrijednosti statističkih karakteristika, hod srednjih godišnjih protoka s ucrtanim trendovima), analizu mjesečnih količina istjecanja (statističke karakteristike srednjih mjesečnih protoka po pojedinim mjesecima i godinama, hod karakterističnih vrijednosti srednjih mjesečnih protoka tijekom godine), analizu dnevnih količina istjecanja na izvorima (statističke karakteristike srednjih dnevnih protoka po pojedinim mjesecima i godinama, hod karakterističnih vrijednosti dnevnih protoka, krivulje trajanja i učestalosti za svaku godinu i za cjelokupno razdoblje s anvelopama minimalnih i maksimalnih vrijednosti), analizu recesijskih krivulja (glavna krivulja iscrpljenja i omjere između brze i spore komponente otjecanja u svakoj hidrološkoj godini), analizu modularnih koeficijenata, korelacijsku analizu (auto-korelacijske funkcije srednjih dnevnih protoka; linearne korelacije između srednjih dnevnih, srednjih mjesečnih i srednjih godišnjih protoka na dva izvora; linearna korelacija maksimalnih dnevnih protoka u godini na dva izvora), statističku analizu (krivulje raspodjele srednjih i maksimalnih godišnjih protoka).

U Splitu, 24.2.2016.

Voditelj diplomskog rada:

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:

Prof. Dr. Sc. Damir Jukić

Prof. dr. sc. Ivica Boko

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Voda .....	1
1.2. Općenito o kršu .....	2
<b>2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA IZVORA JADRA I ŽRNOVNICE .....</b>	<b>5</b>
2.1. Značajke slivnog područja Jadra i Žrnovnice.....	5
2.2. Značajke izvora i rijeke Jadro .....	6
2.3. Značajke izvora i rijeke Žrnovnice.....	7
<b>3. MATEMATIČKA OSNOVA PROVEDENIH REZULTATA.....</b>	<b>8</b>
3.1. Hidrogram otjecanja .....	8
3.2. Recesijska krivulja .....	11
3.3. Krivulja trajanja i krivulja učestalosti .....	13
3.4. Korelacijska i regresijska analiza .....	14
3.5. Auto-korelacija.....	15
3.6. Opis statističkih karakteristika .....	16
3.7. Krivulje raspodjele .....	17
3.7.1. Empirijska raspodjela .....	18
3.7.2. Normalna (Gaussova) raspodjela.....	18
3.7.3. Lognormalna raspodjela .....	19
3.7.4. Gumbelova distribucija.....	19
<b>4. HIDROLOŠKA ANALIZA GODIŠNJIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORIMA JADRA I ŽRNOVNICE .....</b>	<b>21</b>
<b>5. HIDROLOŠKA ANALIZA MJESEČNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORIMA JADRA I ŽRNOVNICE .....</b>	<b>23</b>
<b>6. HIDROLOŠKA ANALIZA DNEVNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORIMA JADRA I ŽRNOVNICE .....</b>	<b>28</b>
6.1. Dnevne količine istjecanja na izvorima Jadra i Žrnovnice .....	28
6.2. Krivulje trajanja i učestalosti za Jadro i Žrnovnicu .....	33
<b>7. ANALIZA RECESIJSKIH KRIVULJA.....</b>	<b>37</b>
<b>8. ANALIZA MODULARNIH KOEFICIJENATA .....</b>	<b>44</b>
<b>9. KORELACIJSKA ANALIZA .....</b>	<b>47</b>
9.1. Linearna korelacija.....	47
9.2. Auto-korelacijska funkcija.....	50
<b>10. STATISTIČKA ANALIZA IZVORA JADRA I ŽRNOVNICE.....</b>	<b>51</b>
10.1. Krivulje raspodjele srednjih godišnjih protoka.....	51

10.2. Krivulje raspodjele maksimalnih godišnjih protoka .....	57
<b>11. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>63</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>65</b>
<b>PRILOZI.....</b>	<b>66</b>
Popis slika .....	66
Popis tablica.....	70

# 1. UVOD

## 1.1. Voda

Voda je najvažniji resurs na Zemlji i osnova je svih životnih oblika, ekosustava i ljudskog društva. Izvorišta pitke vode na Zemlji su ograničena, te je samo mali dio iskoristiv za čovjekovu uporabu. Od ukupne količine vode na Zemlji, 97,5 % sačinjava slana voda u oceanima i morima, a ostatak čini slatka voda neprocjenjive važnosti. Od ukupnog postotka slatke vode, 69% čini voda "zarobljena" u ledenim pokrivačima i snijegu, 30% čini podzemna voda, dok najlakše dostupno vodu čini samo 1% u koji spadaju rijeke i jezera.

Izostankom složenog i skupog procesa desalinizacije, slana voda se ne može koristiti u kućanstvu, industriji i poljoprivredi. Hidrogeologija kao znanstvena disciplina se bavi postankom, rasprostranjenošću, korištenjem i zaštitom podzemne vode koja je najvažnija za opskrbu stanovništva pitkom vodom. Voda u podzemlju prvenstveno se nakuplja iz oborina procesima infiltracije i perkolacije kroz poroznu sredinu. Vodni resursi Zemlje nalaze se u hidrološkom ciklusu neprekidne i uravnotežene cirkulacije vode u atmosferi, hidrosferi i litosferi. Uslijed otjecanja površinske i podzemne vode, isparavanja, kondenzacije i ponovnog povratka na Zemlju, voda prolazi kroz tri različita agregatna stanja. U posljednjih nekoliko desetljeća u svijetu se događaju intenzivne antropogene promjene u vidu hidrološkog ciklusa površinskih voda, iskorištenju vodnih resursa i bilanci vode.

Svijet se danas bori sa smanjenjem rezervi pitke vode čiji je uzrok nejednolika raspoređenost vode, onečišćenje izvora, nekontrolirano ispuštanje otpadnih voda iz kućanstva i industrije, manjak prirodnih crpilišta, neprimjerene poljoprivredne aktivnosti. Porastom broja stanovnika, ekonomskim rastom i klimatskim promjenama, potrebe za vodom svakodnevno rastu, te se povećava i njeno crpljenje iz podzemlja. Zagađenje podzemnih voda je nemoguće izbjeći naročito u područjima gdje su potrebe za vodom najveće.

Potrebe za slatkom vodom se stalno povećavaju i zato je njome potrebno racionalno i učinkovito gospodariti, kako bi se ostvario koncept održivog razvoja.

Hrvatska je zemlja bogata kvalitetnom vodom i gotovo sva njena pitka voda dolazi iz podzemnih izvora, naročito iz vodnog područje Dalmatinskih slivova.



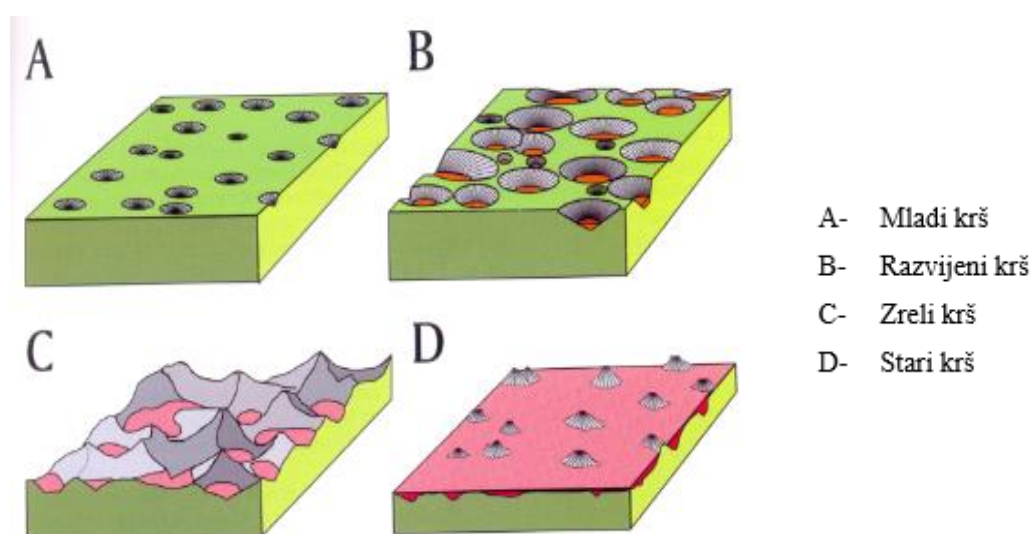
## 1.2. Općenito o kršu

Krš predstavlja specifično površinski i podzemni reljef nastao korozijom karbonatnih stijena u kojem vode pretežno podzemno teku i ne prate površinski reljef već geološku građu podzemlja. Krš može nastati i na drugim topivim stijenama kao što su soli (mineral halit) i gips. Snažni tektonski procesi u krškim karbonatnim stijenama stvorili su mnogo rasjeda i pukotina, koje omogućuju prodiranje vode u dublje zone. Takvo je podzemlje pripremljeno za proces okršavanja koji započinje duž pukotine i razvija se uslijed fizikalnog i kemijskog djelovanja vode s topljivim i poroznim stijenama. Prilikom otapanja kalcijevog karbonata, voda stvara karakteristične površinske i podzemne oblike. Varijacije toka vode rezultiraju stvaranje velikog broja različitih površinskih i podzemni krških oblika s osebujnim geološko-morfološkim formacijama i specifičnom florom i faunom. Snaga otapanja vode ovisi o temperaturi vode, kemijskom sastavu vode, količini oborina, brzini kretanja vode.

Proces okršavanja je intezivniji ako postoji sloj humusa iznad karbonatne stijene, jer taj sloj povoljno utječe na proizvodnju i nakupljanje CO<sub>2</sub>, koji u kemijskoj reakciji uzrokuje otapanje karbonatnih stijena. Otvori, pukotine i pore su od velike važnosti u hidrologiji podzemlja i inženjerskoj praksi. Primarna, tektonska ili integranularna poroznost karbonatnih stijena predstavlja prostor između znatog materijala koji je nastao tijekom razdoblja geneza, taloženja sedimenata i pertifikacije.

Sekundarna poroznost odnosi se na pukotine nastale u karbonatnim stijenama uslijed hidroloških i kemijskih procesa u razdoblju nakon pertifikacije.

Okršavanjem se postupno preoblikuje reljef, te razlikujemo 4 faze u razvoju krša:



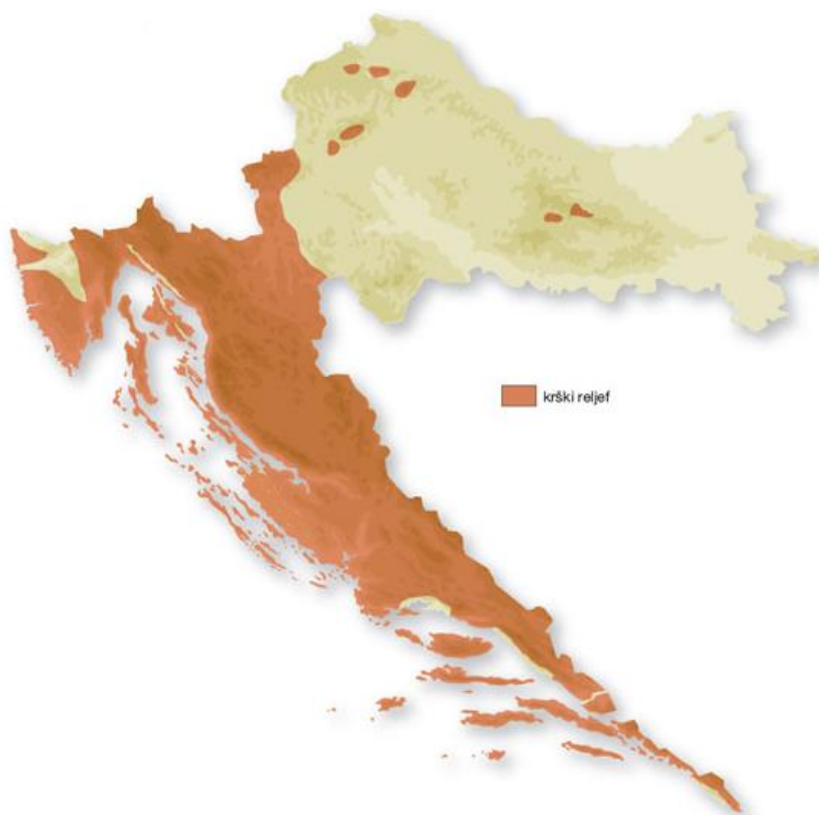
Slika 1.2.1. Faze u razvoju krša -Izvor [1]

Veća faza okršavanja podrazumijeva povećanje inteziteta okršenosti, a smanjuje područje karbonatnih stijena.

Mladi krš karakterizira lokalni razvoj površinskog krša s raštrkanim vrtačama (neki ih zovu ponikvama), razvijeni krš obilježavaju brojne vrtače od kojih su neke nastale površinskim otapanjem stijena, a neke urušavanjem podzemnih šupljina (kaverni i špiljskih kanala); zreli krš obilježavaju duboke doline, spojene vrtače, istaknuti okršeni vrhovi planina; a stari krš prepoznajemo po izoliranim okršenim brdašcima, liticama, gredama i kukovima koji strše iz zaravnjenog reljefa. [1]

U našim krajevima dominiraju razvijeni i zreli krš. Rasprostranjenost krša uvjetovana je rasprostranjenošću karbonatnih stijena koje su podložne otapanju. Ponekad su karbonatne stijene prekrivene drugim vrstama stijena, no svejedno će biti izložene procesu okršavanja, samo što s površine ne mora biti vidljivo.

U Republici Hrvatskoj 46% od ukupne površine kopnenoga dijela čini krš, a dio šireg područja istovrsne je građe. Prostire se od sjevernog nizinskog dijela, preko gorskog i primorskog dijela, sve do najznačajnijeg dijela, Dinarski krš.



Slika 1.2.2. Krški reljef Hrvatske - Izvor [2]

Zaštita krša zahtjeva jako dobro poznavanje svih procesa koji se u njemu zbivaju. Jako je teško poznavati procese u podzemlju na koje utječu zahvati na površini. Smjer i brzinu tečenja možemo odrediti praćenjem voda koje poniru i njihovim mješanjem sa vodama iz susjednih izvora.

Transport vode u krškom podzemlju uglavnom se odvija kroz kanale ili provodnike. Glavnina vode, tj. oko 99% podzemne krške vode akumulira se sitnim pukotinama. Podzemne šupljine krša u kojima se zadržavaju velike količine podzemne vode čine krške vodonosnike. Svojstva vodonosnika i vrijeme zadržavanja vode u njima jako je teško odrediti.

Prihranjivanje vodonosnika se odvija infiltracijom kroz nekonsolidirani materijal ili izravnim tokom vode u raspucanu stjensku masu. Za stvaranje vodonosnika potrebna su vertikalna i horizontalna kretanja podzemne vode.

Krški izvori su lokalna mjesta gdje se odvija istjecanje iz vodonosnika. Zbog varijacije vodne plohe u krškim vodonosnicima u vrlo kratkom roku to se očituje i na brzoj promjeni količine istjecanja i kvalitete vode na krškim izvorima.

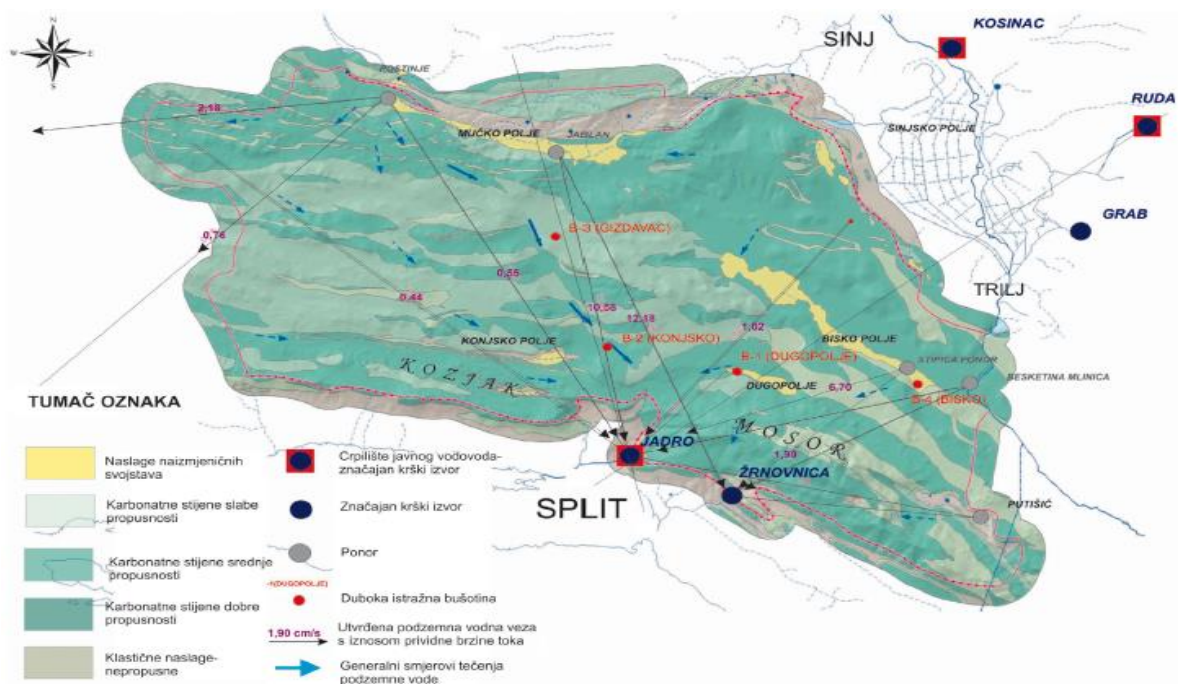
## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA IZVORA JADRA I ŽRNOVNICE

### 2.1. Značajke slivnog područja Jadra i Žrnovnice

Problem poznavanja podzemnih tokova i brzina kretanja vode u podzemlju nekada može biti jako kompleksno. Jako je bitno određivanje hidrogeoloških granica sliva zbog određivanja zona zaštite pitke vode. Slivovi rijeka Jadro i Žrnovnice spadaju u jedne od većih slivova dinarskog krša i predstavljaju nezamjenjive izvore pitke vode za grad Split i njegovu širu okolicu. Slivno područje Jadra i Žrnovnice sastoji se od stijena kalcita, dolomita i laporovitog vapnenca iz razdoblja mezozojske starosti, te od vapnenca perma koji je manjim dijelom rasprostranjen. Slivno područje rijeke Jadro predstavlja fenomen morfološke i pejsažne raznolikosti, te bogatog kulturnog i povijesnog nasljeđa.

Priljevno područje izvora Jadra i Žrnovnice jedno je od prostorno većih slivova Dinarida. Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja, koja su bila pretežito usmjerena na proučavanje općih geoloških i hidrogeoloških obilježja područja te hidrološke izračune, procjenjena površina sliva iznosi između 250 i 500 km<sup>2</sup>. [3]

Procjenjena površina slivnog teritorija Jadra graniči sa slivovima izvora Pantana na zapadu, rijeke Čikole na sjeveru i rijeke Cetine na istoku. Sliv izvora Žrnovnice graniči sa slivovima krških izvora Jadra i Studenci. Dijelom se prihranjuje iz krškog vodonosnika koji dijeli zajedno sa susjednim vodotokom Cetine.



Slika 2.1.1. Shema hidrogeološke karte priljevnog područja Jadra i Žrnovnice - Izvor [3]

## 2.2. Značajke izvora i rijeke Jadro

Izvor rijeke Jadro nalazi se oko 2,5 km sjeveroistočno od grada Solina na nadmorskoj visini 35 m.n.m., a ukupna duljina od izvora do istočnog ruba Kaštelanskog zaljeva gdje se uljeva u more iznosi oko 4,2 km. Prvih 500 m korita ima relativno velik pad, te potom rijeka s blagim padom utječe u Jadransko more. Voda izvora Jadra je kalcijsko-bikarbonatnog sastava i karakterizira ga mala mineralizacija i tvrdoća. U sušnom periodu izvor Jadra sadržava malo više klorida od ostalih krških izvora, čiji su uzrok zaslanjeni izvori u akumulaciji Perući na rijeci Cetini. U srednjem toku rijeka Jadro se sastoji od glavnog korita i tri rukavca koji su prije ušća u more opet spojeni u zajedničko korito. Voda rijeke Jadro teče gravitacijskim cjevovodom još od vremena Dioklecijana i nepresušna je, te predstavlja hraniteljicu života područja Splita, Solina, Kaštela, Trogira i drugih dijelova neposrednog gradskog okruženja.



Slika 2.2.1. Izvor rijeke Jadro – Izvor [3], str. 206

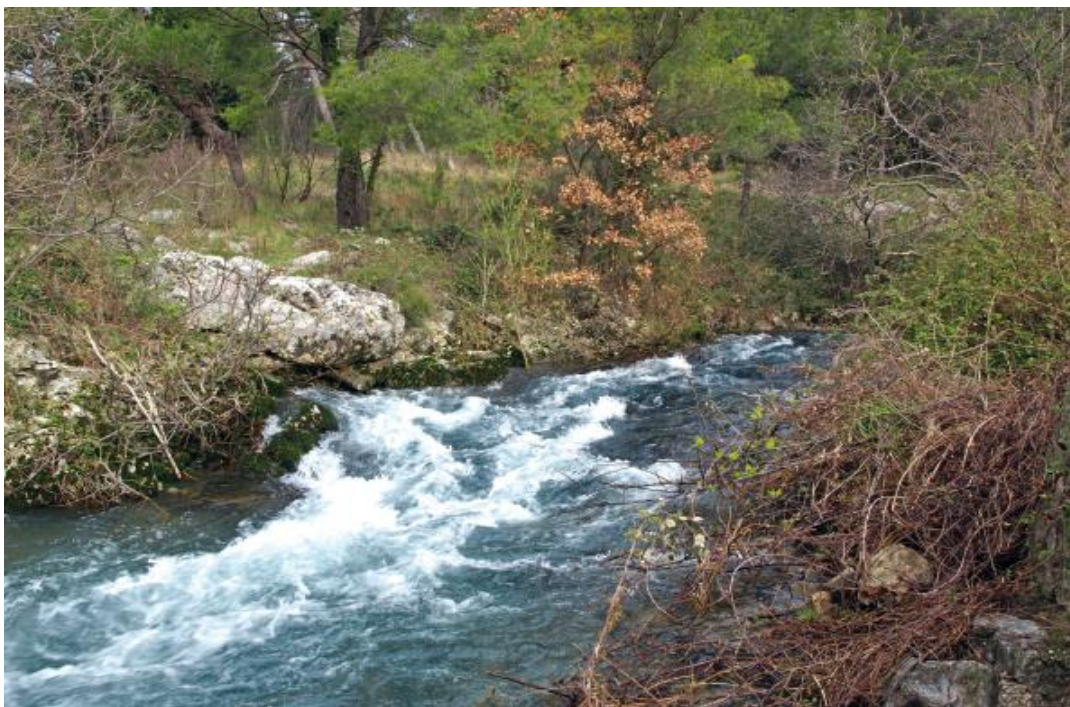
U zadnjih nekoliko godina dolazi do urbanizacije cijelog područja sliva, što uzrokuje znatne štetne posljedice u vidu kakvoće podzemne vode i učestalija zamućenja.

Prema pokazateljima kakvoće rijeka Jadro pripada prvoj kategoriji voda na cijelom toku od izvora do vodnih pragova nizvodno od središnjega dijela grada. Nizvodni dio rijeke, koji je pod utjecajem mora, i ušće pripadaju drugoj kategoriji voda.

### 2.3. Značajke izvora i rijeke Žrnovnice

U podnožju Mosora nalazi se izvor rijeke Žrnovnice, čija ukupna duljina od izvora do ušća u more u Stobrečkoj uvali iznosi 4,5 km. Ovisno o razini podzemne vode u krškom vodonosniku, voda u izvorišnoj zoni Žrnovnice izbija na nadmorskim visinama između 78 i 90 m.n.m. Žrnovnica je krška rijeka bržeg toka s manjim slapovima i dosta brzaca.

Najočuvaniji dio rijeke Žrnovnice nalazi se u gornjem toku koji prolazi kroz kanjon slabo dostupan ljudima. U donjem dijelu obale rijeke napravljena je šetnica, a ostatak obale obrastao je vrbom i smokvom s malo vodene vegetacije.



Slika 2.3.1. Izvor rijeke Žrnovnice – Izvor [3], str. 207

Izvorište Žrnovnice, zbog male izdašnosti u ljetnom periodu, ne može dati znatan doprinos te je u prvom redu važno zbog svoje visinske kote od oko 80 mn.m., mogućnosti gravitacijskog uključenja u sustav vodoopskrbe i kao dodatna sigurnost u opskrbi vodom za slučaj izvanrednih okolnosti.

### 3. MATEMATIČKA OSNOVA PROVEDENIH REZULTATA

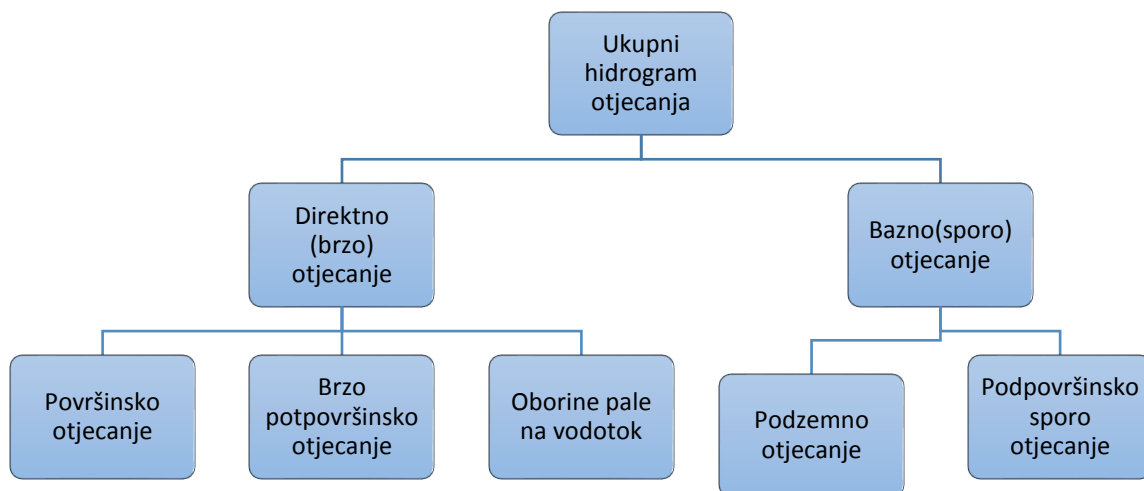
#### 3.1. Hidrogram otjecanja

Ukupno otjecanje na izlaznom profilu sliva prikazuje se kao vremenska funkcija  $Q = f(t)$ , čiji se grafički prikaz definira hidrogramom otjecanja, ili kratko hidrogram. Dakle, hidrogram je grafički prikaz istjecanja u vodotoku u vremenu na određenoj lokaciji.

Faktori koji utječu na oblik hidrogram mogu se klasificirati u tri grupe:

- Fizičke karakteristike slivne površine
- Klimatski faktori
- Geološke karakteristike slivne površine

Ukupno otjecanje u jednom efluentnom vodotoku, tj. količina vode koja se javlja na izlaznom profilu sliva može se prikazati putem glavnih komponenti ukupnog direktnog otjecanja :



Slika 3.1.1. Shema komponenti ukupnog otjecanja

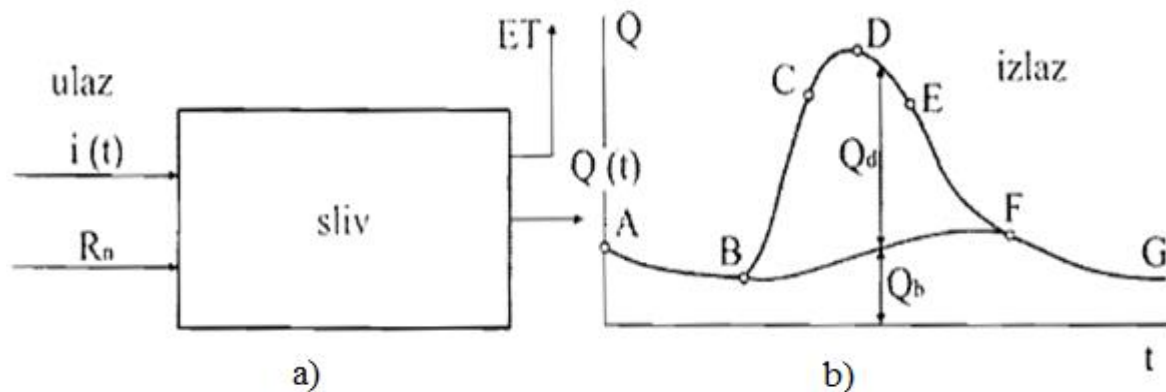
Na početku kiše veći dio padalina se sadržava na lišću i ostaloj vegetaciji, te se ta voda vraća u atmosferu procesom isparavanja. Prilikom pljuskova manjeg inteziteta i kratkog trajanja u ljetnom periodu, samo mali dio kiše dospjeje do tla i ispunjava depresije ili se infiltrira u zemljište. Pri pljuskovima dužeg trajanja, ako je poslije početnih gubitaka intezitet kiše veći od inteziteta infiltracije zemljišta, počinje površinsko otjecanje.

Dio infiltrirane vode nastavlja teći kroz rastresiti sloj zemljišta i dospjeva do riječnog korita sa izvjesnim zakašanjem u odnosu na površinsko otjecanje. Ova komponenta otjecanja naziva

se podpovršinsko otjecanje. Dio infiltrirane vode dopijeva do podzemlja i kod efluentnih tokova postaje podzemno otjecanje recipijenta.

Forma hidrograma otjecanja sačinjena je od tri tipična dijela koja su prikazana na slici 3.1.2.b) Grana porasta hidrograma naziva se krivuljom koncentracije, a to je dio od točke B do točke C i predstavlja rastući dio hidrograma. Vršni dio hidrograma odnosi se na dio od točke infleksije na grani porasta do točke infleksije na opadajućoj grani hidrograma (dio krivulje od točke C do točke E). Grana opadanja poprima oblik konveksne krivulje (od točke E do točke G na slici) i predstavlja opadajući (recesijski) dio hidrograma.

Krivulja A do B je hidrogram otjecanja efluentnog vodotoka prije kiše. Tokom i poslije prestanka kiše, povećanju proticaja u vodotoku može doprinjeti jedna ili više komponenti oticanja. [4]



Slika 3.1.2. a) Ulaz i izlaz hidrološkog sistema, b) Hidrogram otjecanja - Izvor [4], str. 742

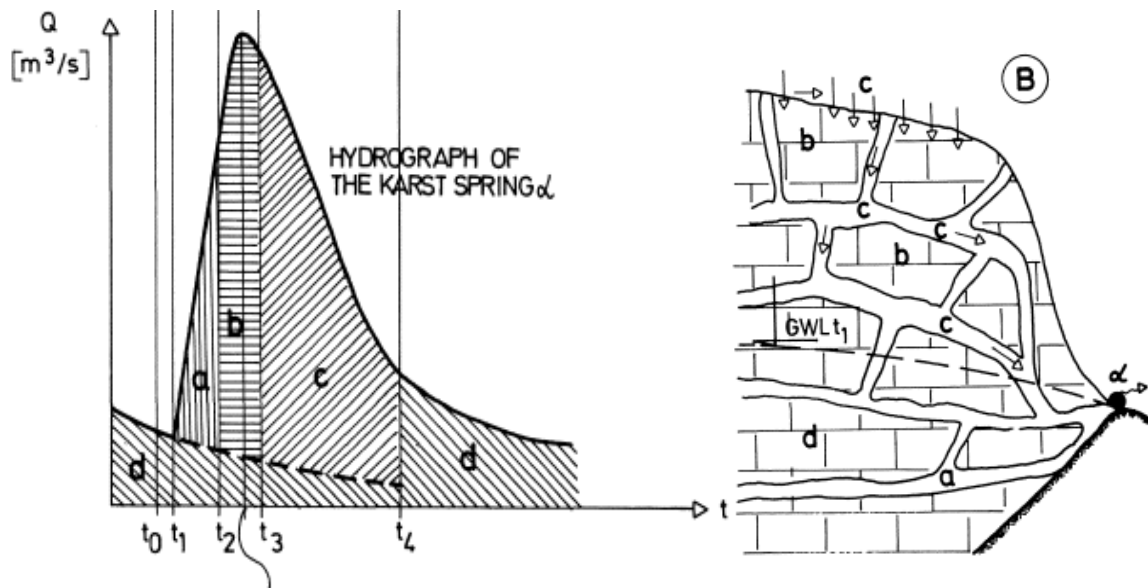
Također je prikazan hidrološki sistem kao jedna konceptualna cjelina koja se sastoji od međusobno zavisnih elemenata. Izlaz sistema je hidrogram otjecanja i gubici sa sliva nastali pri isparavanju sa vlažnih površina i isparavanjem kroz biljke. Ulaz sistema predstavljaju bruto intezitet oborina i neto radijacija.

Što se tiče otjecanja vode u kršu generalno postoje dvije vrste otjecanja. Sporo otjecanje koje se još naziva i difuzno otjecanje prisutno je u krškim pukotinama malih dimenzija, općenito nazvano i laminarno tečenje. Brzo turbulento tečenje ili tečenje kroz kanale prisutno je u velikim pukotinama, kroz nepravilne krške kanale sa dimenzijama koje variraju od 10 mm do 1m ili više. [9]

Postoje 3 zone tečenja vode u kršu: vadozna, neaktivna ili zona vertikalnog tečenja; zona visoke vode ili zona horizontalnog tečenja; freatska zona. Zona vertikalne cirkulacije javlja se u području s velikim zglobovima kroz koje voda brzo cirkulira sve do razine podzemne vode.



Zona horizontalne cirkulacije može se indetificirati sa freatskom zonom tj. područjem gdje su sve pukotine i pore ispunjene vodom.



Slika 3.1.3. Hidrogram krškog izvora i podrijetlo vode u podzemlju - Izvor [9], str. 79

Zone u podzemlju:

- a- Voda pohranjena u šupljina kanala i većih pukotina u saturiranoj zoni, odnosno u freatskom dijelu krškog sustava
- b- Voda pohranjena malim, usko povezanim porama u vadoznoj zoni i transportirana turbulentnim tečenjem kroz kanale
- c- Površinska voda koja tone putem dobro povezanih pukotina u podzemlje i transportirana jako brzo kroz sustav kanala
- d- Voda u malim porama saturirane zone koje pripadaju freatskoj zoni

Na slici 3.1.3.  $t_0$  čini vrijeme nastanka hidrograma uslijed oborine. Reakcija sustava, tj. povećanje hidrograma otjecanja počinje malo kasnije u trenutku  $t_1$ . U periodu između  $t_1$  i  $t_2$  hidrogram je formiran uslijed vode u zoni a. [10]

Završetak pražnjenja vadozne zone događa se u trenutku  $t_3$ . Od toga vremena hidrogram je formiran uglavnom od površinske vode koja tone u podzemlje. Kraj dotoka podzemnih voda iz zone c se iskazuje u vremenu  $t_4$ , te se nakon toga izvor formira od vode u zoni d.

### 3.2. Recesijska krivulja

Kao što je već rečeno u poglavlju 3.1. krivulja recesije predstavlja opadajući dio hidrograma od točke E do F na slici 3.1.2.b). Recesijsku krivulju je prikladno konstruirati na dugom recesijkom periodu bez značajnih oborina. Oblik ove krivulje ovisi o fizičkim karakteristikama sliva i hidrografske mreže.

Nagib recesijske krivulje ukazuje na intezitet otjecanja akumulirane vode u riječnom koritu. Sa porastom sušnog perioda preljev podzemne vode u koritu je sve manji i oblik hidrograma blizak je ekponencijalnoj krivulji.

Matematički izraz te krivulje predložio je 1905.g. francuski inženjer Millet, a glasi:

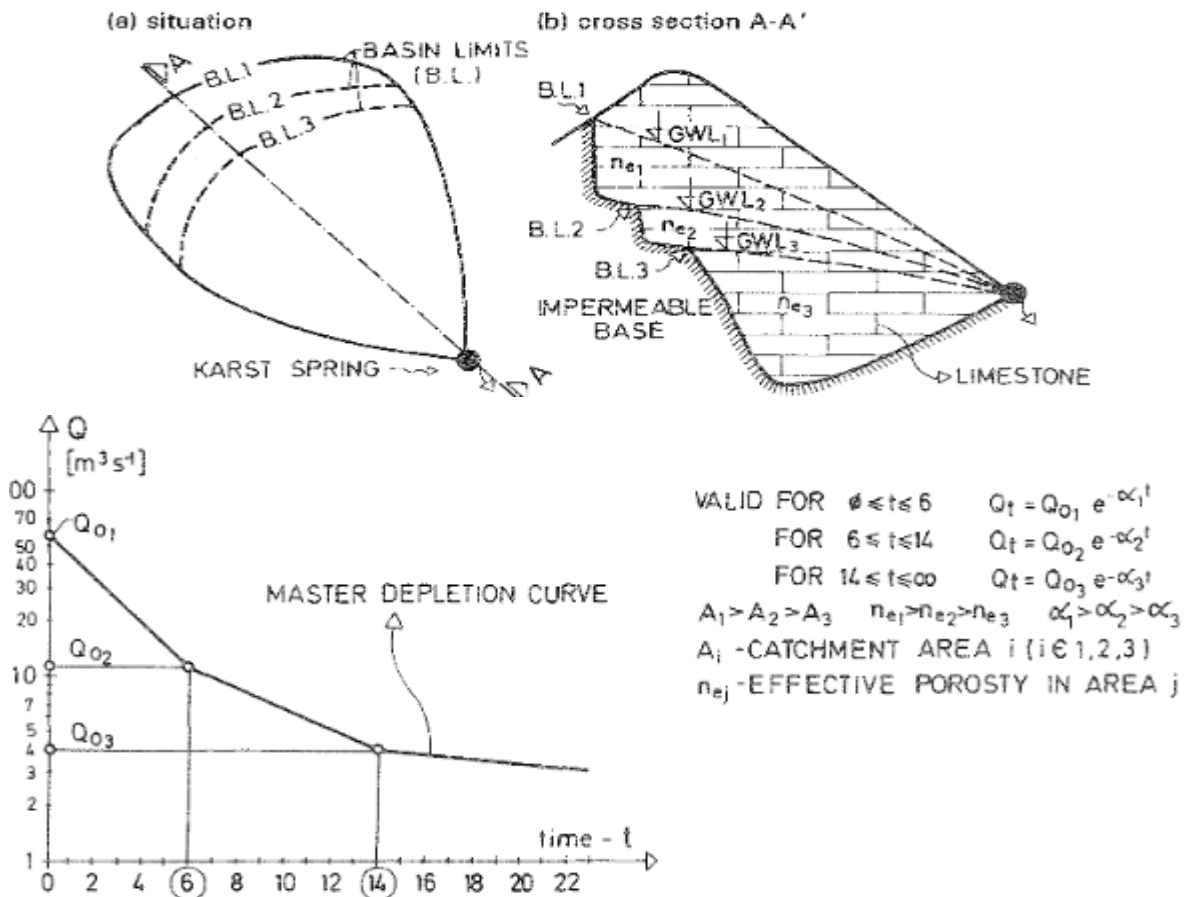
$$Q(t) = Q(t_0) \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (1)$$

gdje je  $Q(t)$  protok u vremenu  $t$ ,  $Q_0$  protok na početku recesije,  $\alpha$  koeficijent recesije.

Ukoliko krivulju recesije grafički prikazujemo u kordinatnoj ravnini čija je ordinata u polu-logaritamskom mjerilu, krivulja će biti pravac, a recesijski koeficijent  $\alpha$  predstavlja nagib pravca. Ako je pravac većeg nagiba to ukazuje da je vodonosnik propusniji, a što je pravac blažeg nagiba vodonosnik je manje propustan.

Vrijednosti koeficijenta ovise o retencijskim karakteristikama podzemnog rezeorvara (hidrogeološkim karakteristikama vodonosnika i njegovoj geometriji). U praksi se smatra da vrijednostima veličine  $10^{-2}$  odgovara brzo pražnjenje krških kanala i pukotina, dok blagi nagib krivulje pražnjenja (oko  $10^{-3}$ ) ukazuje na pražnjenje sitnih pukotina, prslina i klastične ispune krških šupljina. [11]

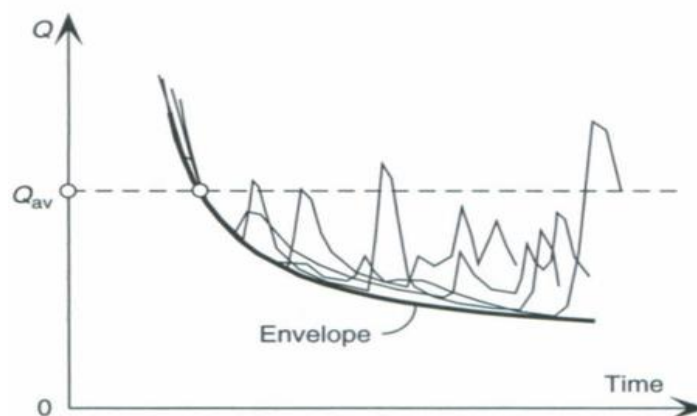
Krivulja recesije može biti prikazana za jednostavan, ali i za složen sistem pražnjenja uobičajenog za krške vodonosnike. Na slici 3.2.1. prikazana je krivulja recesije tri režima pražnjenja, tj.eksponencijalna krivulja se sastoji od tri pravca s tri različita koeficijenta recesije.



Slika 3.2.1. Krivulja recesije u polu-logaritamskom mjerilu - Izvor [9], str. 56

Točke pauze na krivulji recesije prezentirane na polu-logaritamskom mjerilu rezultat su pada podzemnog hidrogeološkog sliva i smanjenja poroznosti krškog masiva.  $n_{e1}$  opisuje poroznost krških kanala,  $n_{e2}$  poroznost većih pukotina, a  $n_{e3}$  slabo propusnih pukotina.

Pri analizi recesijske krivulje najčešće se daje i prikaz anvelope krivulje recesije. Ona grafički predstavlja liniju (Slika 3.2.2.) koja spaja najniže točke krivulja recesije svih godina u promatranom razdoblju. Ukazuje na najnepovoljnije ponašanje protoka.



Slika 3.2.2. Anvelopa krivulja recesije - Izvor [5], str. 26

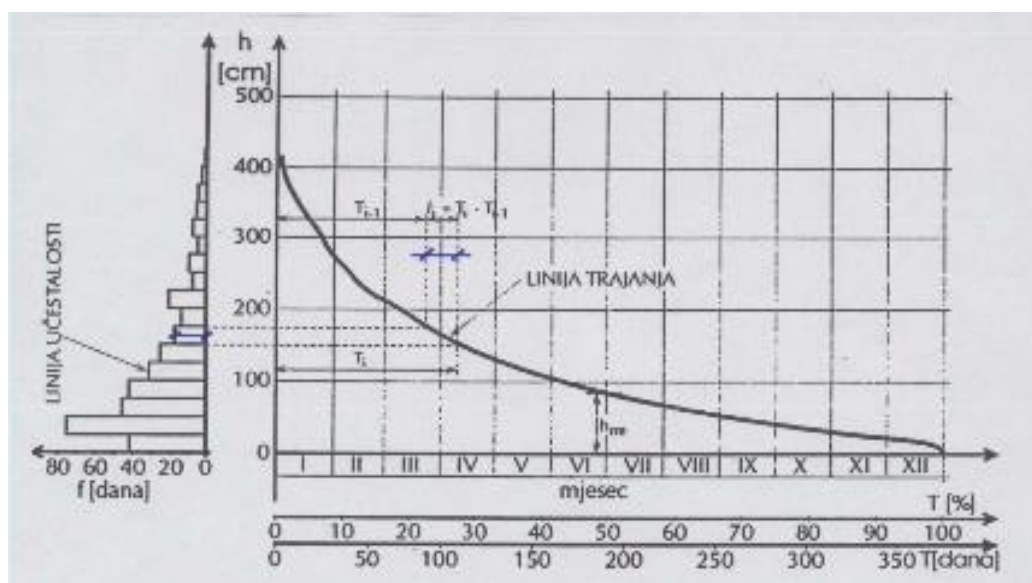
### 3.3. Krivulja trajanja i krivulja učestalosti

Općenito, krivulja trajanja jest krivulja koja pokazuje postotak vremena ili broj dana u godini, tijekom kojih je vodostaj ili protok jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronološki slijed (kronologiju). Za konstrukciju krivulje trajanja polazi se od zbrojne ili kumulativne učestalosti neke vrijednosti. Ona predstavlja zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto.[7]

Nagib krivulje trajanja ovisi o ulaznim podacima tj. da li su to srednji dnevni, srednji mjesečni ili srednji godišnji protoci. Ako u pojedinim hidrološkim godinama dolazi do presušivanja to se odražava na krivulji trajanja.

Uobičajeno je da se koriste srednji dnevni protoci za konstrukciju krivulje trajanja. Grafički prikaz krivulje trajanja može poslužiti za određivanje značajki vodnog režima vodotoka i mogućnosti iskorištenja vodnih resursa.

Krivulja učestalosti predstavlja broj pojava (ili postotak pojava) nekog hidrološkog procesa u određenom intervalu (razredu).

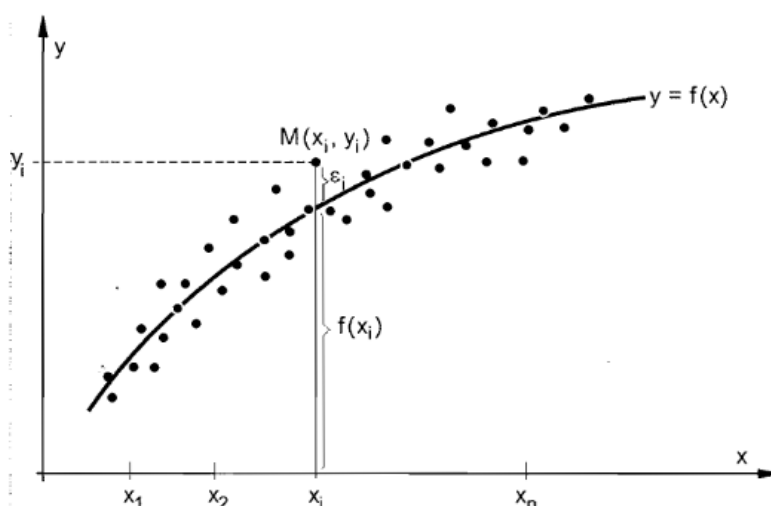


Slika 3.3.1. Prikaz krivulje trajanja i krivulje učestalosti - Izvor [6]

### 3.4. Korelacijska i regresijska analiza

Slika 3.4.1. geometrijski prikazuje dvodimenzionalnu slučajnu varijablu  $(X, Y)$  u koordinatnom sustavu  $XOY$ , kao skup slučajnih točaka s pripadnim koordinatama  $(x_i, y_i)$  iz čijeg se rasprostiranja može ustanoviti da li postoji ili ne postoji zavisnost među njima. Takva zavisnost se naziva stohastička povezanost ili korelacija, a odgovarajuća linija koja prati dijagram rasprostiranja naziva se regresijska krivulja. Iz rasprostranjenosti točaka  $(x_i, y_i)$  može se ustanoviti da li će krivulja  $y=f(x)$  biti linearna, kvadratna, kubna, eksponencijalna ili neka druga funkcija.

U praksi se često izrazi korelacija i regresija koriste kao sinonimi, pri čemu se podrazumjeva procedura kojom se uspostavlja veza između jedne zavisne promjenljive, i jedne ili više nezavisnih promjenljivih. [4]



Slika 3.4.1. Geometrijski prikaz dvodimenzionalne slučajne varijable  $(X, Y)$   
(Izvor [4], str. 665)

Ako korelacija prikazuje da su dvije slučajne varijable  $X$  i  $Y$  linearno zavisne, linearna veza omogućuje da se jedna varijabla može prikazati iz druge.

U dvodimenzionalnom prostoru slučajne varijable  $X$  i  $Y$  su za linearnu regresiju njihove populacije označene sa  $\eta$  i  $\xi$  tako da vrijedi:

$$\eta = \alpha_1 + \beta_1 x \quad (2)$$

$$\xi = \alpha_2 + \beta_2 x \quad (3)$$

Regresijski pravci procjenjeni iz uzorka su:

$$y = a_1 + b_1 x \quad (4)$$

$$y = a_2 + b_2 x \quad (5)$$

gdje su  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  i  $b_2$  procjenjeni pomoću vrijednosti  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$  i  $b_2$  iz uzorka metodom najmanjih kvadrata. Ti se parametri nazivaju koeficijenti regresije i posebno  $b_1$  je koeficijent regresije  $y$  po  $x$ ,  $b_2$  od  $x$  po  $y$ , dok su  $a_1$  i  $a_2$  odsječci na osi ordinate. [4]

Mjera povezanosti dviju stohastičkih varijabli se izražava putem koeficijenta korelacije.

### 3.5. Auto-korelacija

Auto-korelacija je postupak utvrđivanja periodičnosti i zavisnosti hidroloških serija. Primjenjuje se za određivanje linearne zavisnosti između uzastopnih vrijednosti serije koje su odvojene određenim vremenskim pomakom – korakom  $k$ . Karakteristika auto-korelacije je opadanje zavisnosti između članova vremenske serije s porastom vremenskog koraka  $k$ , pri čemu za  $k \rightarrow \infty$  članovi serije postaju nezavisni. Vremenski korak  $k$  ovisan je o svrsi analize, a u hidrološkim analizama je to obično jedna godina, jedan mjesec, jedan dan i slično.

Ako je vremenska serija stacionarna, AKF kvantificira linearnu međuzavisnost članova vremenske serije tijekom promatranog vremenskog razdoblja, odnosno opisuje duljinu utjecaja ulaznog signala. Vremenske serije otjecanja iz krških izvora ne zadovoljavaju uvijek uvjet stacionarnosti što dovodi do izobličenja AKF. Međutim, kao posljedica sezonskih klimatskih utjecaja, u izračunatim AKF mogu se dobiti statistički negativne vrijednosti. [8]

Izraz auto-korelacijske funkcije:

$$\varphi_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\sum (Y_t - \bar{Y}) \cdot (Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

Vrijednosti auto-korelacijske funkcije mogu biti pozitivne ili negativne, a kreću se u zatvorenom intervalu  $[-1, +1]$ .

### 3.6. Opis statističkih karakteristika

Srednja vrijednost je broj koji predstavlja omjer zbroja promatranog obilježja i broja vrijednosti numeričke varijable.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (7)$$

Varijanca uzorka predstavlja srednje kvadratno odstupanje od prosjeka.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (8)$$

Standardna devijacija definira se kao drugi korijen iz varijance uzorka i predstavlja prosječno odstupanje pojedinačnih vrijednosti numeričkog obilježja od aritmetičke sredine.

Kada je odstupanje malo to ukazuje na malu raspršenost, odnosno disperziju članova numeričkog niza od aritmetičke sredine iz čega slijedi dobra reprezentativnost aritmetičke sredine.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Koeficijent varijacije je odnos standardne varijacije i srednje vrijednosti. Veći koeficijent varijacije pokazuje veću raspršenost, odnosno manju reprezentativnost srednje vrijednosti.

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (10)$$

Donji kvartal je vrijednost numeričkog obilježja od kojeg je 25% podataka manje ili je jednako njemu.

Gornji kvartal je vrijednost numeričkog obilježja od kojega je 75% podataka manje ili je jednako njemu.

Modus se definira kao najčešća vrijednost u uzorku ili grupi podataka.

Medijan je vrijednost numeričke varijable X koja niz uređen po veličini dijeli na dva jednakobrojna dijela.

Koeficijent asimetrije definira se kao omjer trećeg centralnog momenta i kuba standardne devijacije.

$$C_a = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (11)$$

Koeficijent spljoštenosti predstavlja numerički pokazatelj koji iskazuje u kojoj mjeri je neki raspored spljošten u odnosu na normalni raspored.

$$\alpha_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 \quad (12)$$

Rang predstavlja razliku između minimalne i maksimalne vrijednosti.

### 3.7. Krivulje raspodjele

Kako je hidrologija u osnovi skup pojava koje se odnose na raspodjele u prostoru i vremenu slučajnih promjenjivih količina i kvaliteta vode, teorija vjerojatnosti je glavna grana matematike koja se može primjeniti na hidrološke veličine. Upravo slučajne varijable predstavljaju promjenjive veličine čije se veličine ne mogu sa sigurnošću predvidjeti. Ako su slučajne varijable označene sa velikim slovima X, Y, Z, onda su njihove odgovarajuće vrijednosti označavamo sa malim slovima x, y, z. Slučajna varijabla može biti: diskretna i kontinuirana.

Primjer diskretne slučajne varijable mogu biti dnevni, mjesečni i godišnji protoci, dok otjecanje prikazano putem hidrograma predstavlja kontinuiranu slučajnu varijablu.

Zakon vjerojatnosti pojave neke hidrološke veličine (slučajne varijable) predstavlja krivulju raspodjele. Za slučajnu varijablu X kažemo da je poznata ako znamo zakon njene raspodjele.

Krivuljom raspodjele se dobiju značajne informacije o empirijskom nizu na temelju nekoliko parametara.

Da bismo došli do pojma vjerojatnosti pojave neke hidrološke veličine potrebno je na temelju mjerenih podataka odrediti mjerodavnu funkciju raspodjele. Krivulja raspodjele je grafički prikaz funkcije raspodjele.

Da bi se odredila vjerojatnost pojave slučajne varijable X na temelju hidrološkog niza potrebno je izvršiti statističku analizu:

1. Proračunati osnovne statističke parametre uzorka i odrediti empirijsku raspodjelu
2. Odrediti teoretsku funkciju raspodjele i ocjenu parametra
3. Testirati prilagodbu empirijske i teoretske raspodjele

Svrha teoretske raspodjele je da na osnovu hidrometeoroloških veličina opaženih u prošlosti odredi vjerojatnost s kojom bi se ove pojave moglo ostvariti u budućnosti.



## 3.7.1. Empirijska raspodjela

Empirijska razdioba je svaka razdioba koja je dobivena grupiranjem opažanja ili grupiranjem statističkih jedinica prema jednom ili više obilježja. Zovu se još i originalne ili opažene razdiobe.

Za slučajnu varijablu  $X$  kažemo da ima empirijsku distribuciju ako je njen skup svih mogućih vrijednosti konačan podskup skupa realnih brojeva, tj.  $R(x) = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subseteq \mathbb{R}$ .

Vjerojatnost računamo po Hazenovom izrazu:

$$Pe(Q_i) = \frac{\text{redni broj uzorka} - 0,5}{N} \quad (13)$$

## 3.7.2. Normalna (Gaussova) raspodjela

Najvažnija je distribucija kontinuiranih obilježja. Opisao ju je njemački matematičar C.F. Gauss. Matematički je određena, simetrična, dvo-parametarska raspodjela neprekinute slučajne varijable.

Kažemo da slučajna varijabla  $X$  ima normalnu ili Gaussovu distribuciju s parametrima  $\mu$  i  $\sigma^2$ , a označava se sa  $N(\mu, \sigma^2)$ . U tablici 3.6.2.1. prikazana je funkcija gustoće na Normalnu distribuciju, te vjerojatnost događaja da slučajna varijabla  $X$  poprimi vrijednosti u intervalu  $(x_1, x_2)$ .

Tablica 3.7.2.1. Prikaz karakterističkih vrijednosti za Normalnu raspodjelu

Parametri	Srednja vrijednost $\mu$ Varijanca $\sigma^2$
Funkcija gustoće	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, x \in \mathbb{R} \quad (14)$
Vjerojatnost događaja	$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (15)$
Koeficijent asimetrije	0
Koeficijent spljoštenosti	$r_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} = n \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right)^2} \quad (16)$

Zbog toga što je krivulja normalne raspodjele simetrična, koeficijent asimetrije jednak je nuli. Oblik krivulje opisuje parametar  $\sigma^2$ , jer je maksimalna vrijednost funkcije  $\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$  i ona je obrnuto proporcionalna sa  $\sigma^2$ .

Za  $r_4 > 3$  krivulja je s visokim vrhom, a za  $r_4 < 3$  krivulja je s plitkim vrhom raspodjele.

### 3.7.3. Lognormalna raspodjela

Lognormalna distribucija je distribucija vjerojatnosti slučajne varijable čiji logaritmi slijede normalnu distribuciju.

Kažemo da slučajna varijabla  $X$  ima lognormalnu distribuciju s parametrima  $\mu$  i  $\sigma^2$ , a označava se sa  $LN(\mu, \sigma^2)$ , ako je područje njenih vrijednosti  $R(X) = (0, +\infty)$  i pri tom se sličajna varijabla  $Y = \ln X$  distribuira po normalnoj distribuciji  $N(\mu, \sigma^2)$ .

Funkcija gustoće  $f$  slučajne varijable  $X$  za lognormalnu distribuciju ima oblik:

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}, x > 0 \quad (17)$$

$$f_X(x) = 0, x \leq 0$$

### 3.7.4. Gumbelova distribucija

Ime je dobila prema Emilu Gumbelu (1891. - 1966.), njemačkom matematičaru koji se bavio modeliranjem ekstremnih vrijednosti u području strojarstva i meteorologije, a u teoriji vjerojatnosti i statistici koristi se za modeliranje maksimuma (ili minimuma) uzoraka različitih distribucija.

Tablica 3.7.4.1. Funkcija gustoće  $f$  i funkcija distribucije  $F$  za Gumbelovu distribuciju

Funkcija gustoće	$f(x) = \sigma^{-1} \exp\left\{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\sigma}} - \frac{(x-\mu)}{\sigma}\right\}$ (18)
Funkcija distribucije	$F(x) = \exp\left\{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\sigma}}\right\}, \mu, \sigma \in \mathbb{R}, \sigma > 0$ (19)

Jedna od grafičkih metoda analize podataka iz uzorka kontinuiranog obilježja jest vjerojatnosni papir. Utvrđuje se da li se podaci ponašaju prema jednoj od promatranih distribucija i koliko koji elementi odstupaju.

Radi jednostavnije usporedbe dviju raspodjela (teoretske i empirijske) grafički ćemo ih prikazivati na vjerojatnosnom papiru kao pravce. Posebno za svaku raspodjelu imamo:

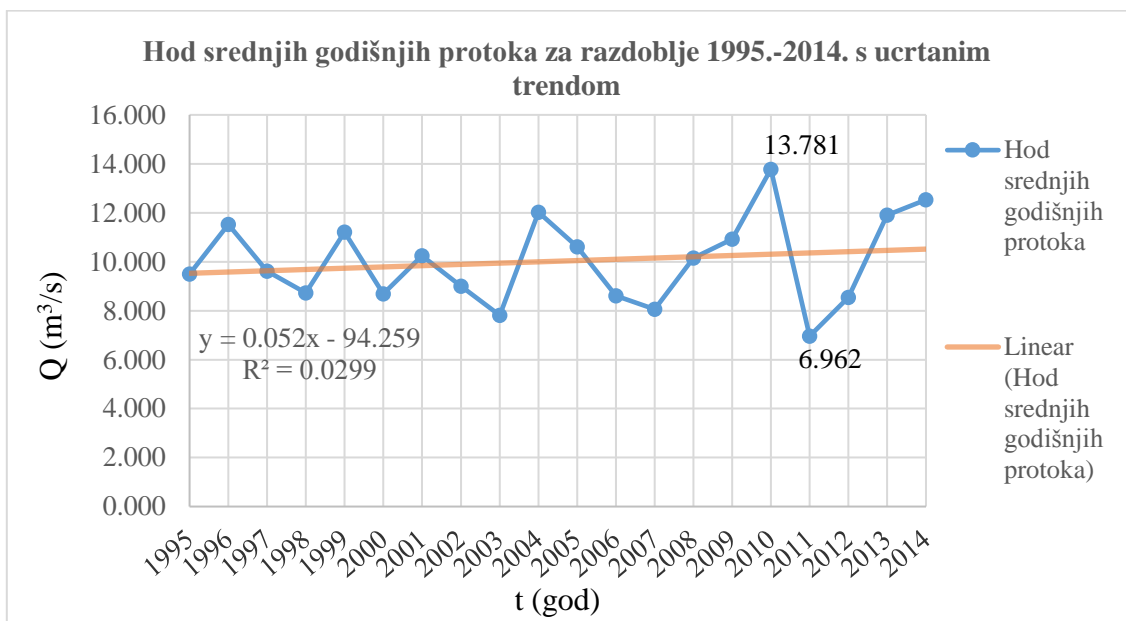
- Papir vjerojatnosti normalne raspodjele
- Papir vjerojatnosti lognormalne raspodjele
- Papir vjerojatnosti gumbelove raspodjele

Pravac koji odgovara funkciji raspodjele se u statistici zove Henry-ev pravac. Pravac prolazi kroz dvije karakteristične točke:  $(\mu; 0,5)$  i  $(\mu+\sigma; 0,841)$ .

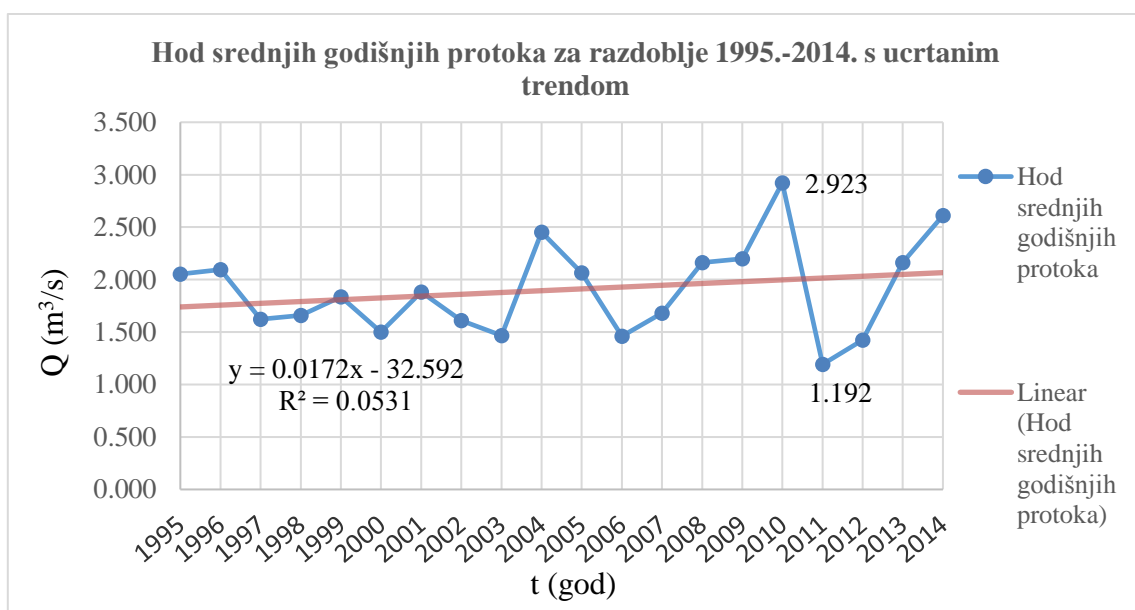
#### 4. HIDROLOŠKA ANALIZA GODIŠNJIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORIMA JADRA I ŽRNOVNICE

Na osnovu podataka o srednjem dnevnom protoku za razdoblje 1995.-2014. obradit će se analiza godišnjih količina istjecanja na izvorima Jadra i Žrnovnice.

Na slikama 4.1. i 4.2. prikazni su hidrogrami godišnjih protoka s ucrtanim linijama linearnih trendova i njihovim koeficijentima linearne korelacije.



Slika 4.1. Hod srednjih godišnji protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014.



Slika 4.2. Hod srednjih godišnji protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.

Maksimalni godišnji protok Jadra zabilježen je 2010. i iznosi 13,781 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni zabilježen 2011. i iznosi 6,692 m<sup>3</sup>/s. Maksimalni godišnji protok Žrnovnice zabilježen je 2010. i iznosi 2,923 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni zabilježen 2011. i iznosi 1,192 m<sup>3</sup>/s. Može se uočiti mali porast linearnih trendova sa koeficijentom korelacije  $r=0,230$  za Žrnovnicu, a za Jadro koeficijent korelacije  $r$  iznosi 0,173.

Hidrološka analiza uključuje i određivanje vrijednosti statističkih parametara prikazanih u tablici 4.1. i tablici 4.2.

Tablica 4.1. Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. na izvoru Jadra

Statističke karakteristike srednjih godišnjih protoka	Vrijednosti za razdoblje 1995.-2014.
Srednja vrijednost	10.022
Medijan	9.886
Standardna devijacija	1.779
Koeficijent varijacije	0.178
Minimum Qmin	6.962
Maximum Qmax	13.781
Rang	6.819
Gornji kvartal	11.287
Donji kvartal	8.669
Koeficijent asimetrije	0.320
Koeficijent spljoštenosti	-0.521

Tablica 4.2. Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. na izvoru Žrnovnice

Statističke karakteristike srednjih godišnjih protoka	Vrijednosti za razdoblje 1995.-2014.
Srednja vrijednost	1.903
Medijan	1.860
Standardna devijacija	0.442
Koeficijent varijacije	0.232
Minimum Qmin	1.192
Maximum Qmax	2.923
Rang	1.731
Gornji kvartal	2.162
Donji kvartal	1.582
Koeficijent asimetrije	0.598
Koeficijent spljoštenosti	0.006

## 5. HIDROLOŠKA ANALIZA MJESEČNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORIMA JADRA I ŽRNOVNICE

Na osnovu podataka o srednjem dnevnom protoku za razdoblje 1995.-2014. u nastavku će se provesti analiza mjesečnih količina istjecanja na izvorima Jadra i Žrnovnice za promatrano razdoblje.

U tablicama 5.1. i 5.2. dane su srednje mjesečne količine istjecanja na izvorima rijeka Jadro i Žrnovnica sa određenim statističkim karakteristikama.

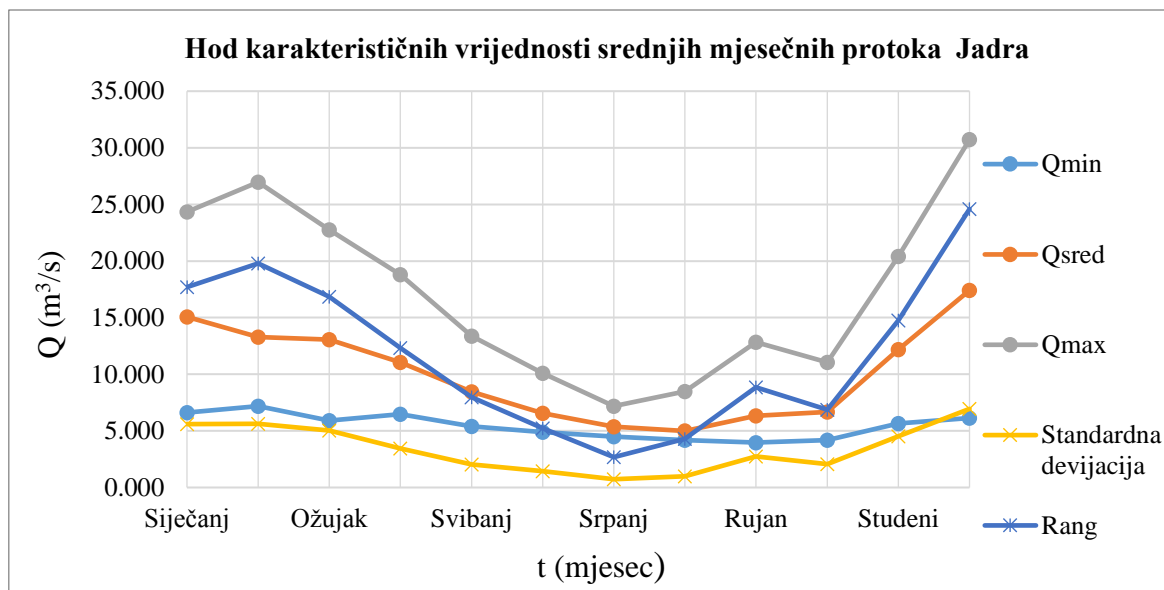
Tablica 5.1. Srednji mjesečni protoci po pojedinim mjesecima i godinama za razdoblje 1995.-2014. sa statističkim parametrima i pripadnim vrijednostima za izvor Jadra

Godina	Srednji mjesečni protoci (m <sup>3</sup> /s)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1995	9.215	10.373	13.839	10.089	9.702	7.342	5.203	4.195	7.927	5.309	6.853	23.772
1996	22.480	14.588	11.080	11.830	8.756	5.651	4.904	4.999	10.433	8.415	16.090	19.264
1997	15.980	8.323	6.585	8.867	7.912	5.903	5.138	4.793	4.418	4.564	20.409	22.468
1998	14.087	7.709	5.914	7.638	9.297	6.105	5.042	4.718	7.786	9.532	10.502	16.167
1999	15.276	13.510	16.984	14.836	13.361	9.098	6.411	5.262	4.633	5.950	10.686	18.509
2000	9.446	8.797	8.830	11.046	6.052	5.039	4.692	4.221	4.080	7.297	19.129	15.783
2001	20.566	14.019	15.468	12.698	7.239	6.014	5.171	4.661	7.733	5.500	15.678	8.644
2002	10.155	12.463	7.167	6.466	6.959	5.534	4.838	8.475	11.802	11.045	9.484	13.895
2003	18.314	13.228	6.677	6.667	5.390	4.879	4.665	4.181	3.971	6.023	9.686	10.321
2004	13.016	13.571	20.967	18.792	12.110	6.724	5.472	5.007	4.770	4.934	10.261	28.503
2005	11.863	9.424	15.291	13.967	7.620	5.722	5.128	4.676	4.791	10.859	12.879	24.855
2006	21.185	10.357	12.948	8.050	8.272	5.582	5.268	5.853	8.500	5.519	5.646	6.129
2007	6.858	15.858	18.522	9.478	9.089	5.451	4.507	4.286	4.145	4.176	6.061	8.830
2008	11.842	7.185	13.025	13.505	7.072	7.574	5.125	4.263	4.673	4.486	12.072	30.719
2009	23.673	19.500	13.619	9.320	8.263	10.097	7.187	5.053	4.430	5.813	9.528	15.106
2010	24.337	24.124	19.666	13.743	11.960	8.083	5.647	4.689	5.344	6.992	18.453	23.025
2011	9.750	7.377	11.815	6.849	6.774	5.347	5.161	4.579	4.326	4.484	7.468	9.527
2012	6.630	8.353	7.461	13.557	7.345	5.840	5.218	4.732	4.719	7.517	9.722	21.391
2013	18.177	20.073	22.763	15.868	7.821	8.152	5.431	4.943	5.229	7.788	15.088	12.209
2014	18.514	26.972	12.486	8.075	8.090	7.235	7.114	6.241	12.831	7.079	17.934	19.144
	<b>Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih mjesečnih protoka</b>											
Qmin	6.630	7.185	5.914	6.466	5.390	4.879	4.507	4.181	3.971	4.176	5.646	6.129
Qsred	15.068	13.290	13.055	11.067	8.454	6.569	5.366	4.991	6.327	6.664	12.181	17.413
Qmax	24.337	26.972	22.763	18.792	13.361	10.097	7.187	8.475	12.831	11.045	20.409	30.719
σ	5.611	5.636	5.030	3.460	2.038	1.428	0.731	0.976	2.736	2.052	4.536	6.942
Cv	0.372	0.424	0.385	0.313	0.241	0.217	0.136	0.195	0.432	0.308	0.372	0.399
Cs	1.020	1.802	2.253	5.752	5.647	4.598	3.550	2.505	1.464	0.432	-0.580	-1.527
Ca	0.154	1.096	0.271	0.466	1.073	1.070	1.636	2.673	1.281	0.893	0.381	0.171
Rang	17.707	19.788	16.848	12.326	7.971	5.218	2.680	4.294	8.859	6.869	14.763	24.590
Gornji kvartil	19.027	14.905	15.847	13.604	9.141	7.400	5.441	5.019	7.821	7.585	15.781	22.607
Donji kvartil	10.054	8.686	8.488	8.069	7.197	5.570	5.007	4.505	4.427	5.216	9.517	11.737
Medijan	14.681	12.845	12.987	10.567	8.001	5.958	5.166	4.725	4.780	5.987	10.594	17.338

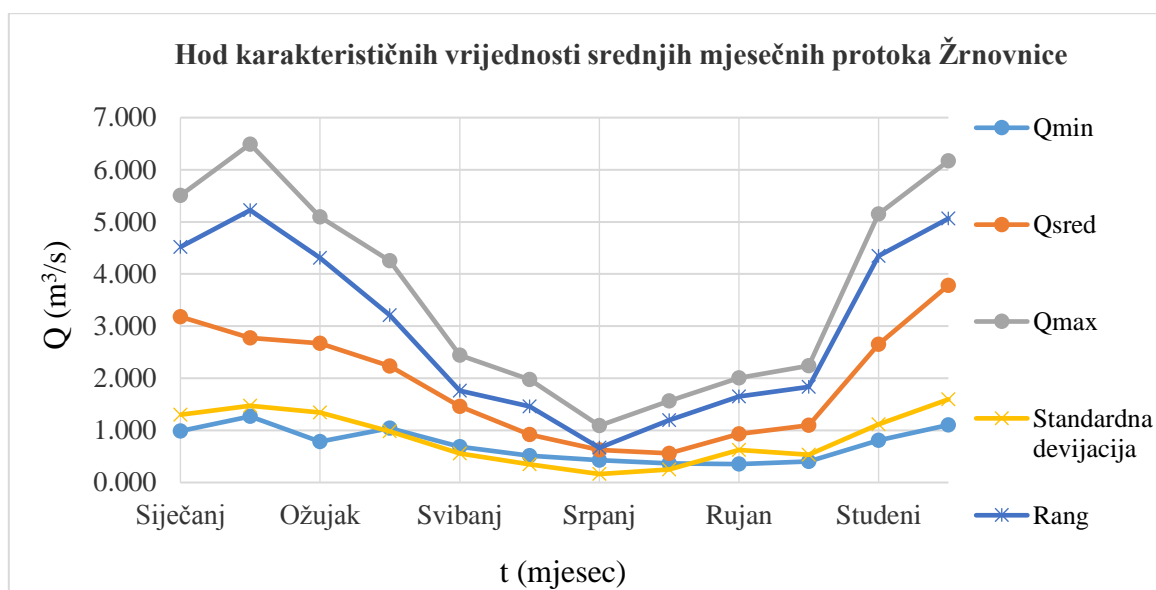
Tablica 5.2. Srednji mjesečni protoci po pojedinim mjesecima i godinama za razdoblje 1995.-2014. sa statističkim parametrima i pripadnim vrijednostima za izvor Žrnovnice

Godina	Srednji mjeseći protoci (m <sup>3</sup> /s)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1995	1.956	2.506	3.397	2.288	1.985	1.203	0.627	0.525	1.956	0.767	1.733	5.712
1996	4.376	2.544	2.134	2.100	1.569	0.742	0.593	0.537	1.853	1.295	3.304	4.105
1997	3.106	1.349	0.878	1.607	1.238	0.690	0.512	0.471	0.374	0.403	3.832	4.987
1998	3.333	1.540	0.787	1.472	2.231	0.799	0.502	0.422	1.301	1.857	2.031	3.575
1999	3.098	2.239	2.874	2.900	1.894	0.979	0.611	0.457	0.451	0.741	1.995	3.814
2000	1.673	1.626	1.503	1.981	0.683	0.517	0.425	0.369	0.353	1.768	3.963	3.166
2001	4.402	2.454	3.246	2.919	0.927	0.700	0.471	0.415	1.747	0.749	3.248	1.413
2002	2.196	2.696	1.034	1.041	1.188	0.809	0.564	1.566	1.775	1.911	1.703	2.897
2003	4.385	2.639	0.946	1.076	0.727	0.533	0.481	0.418	0.425	1.421	2.288	2.345
2004	2.863	3.210	4.699	4.254	2.343	0.969	0.635	0.510	0.467	0.599	2.739	6.144
2005	1.987	2.218	3.195	3.255	1.168	0.702	0.585	0.530	0.613	2.238	2.691	5.573
2006	3.946	2.006	2.582	1.202	1.519	0.726	0.654	0.752	1.490	0.743	0.809	1.105
2007	1.528	4.002	4.315	1.714	2.444	0.813	0.597	0.496	0.444	0.507	1.241	2.209
2008	3.067	1.445	3.292	3.773	1.130	1.520	0.666	0.539	0.660	0.659	2.983	6.169
2009	5.128	3.689	2.975	1.680	1.318	1.977	1.091	0.539	0.562	1.255	2.562	3.687
2010	5.507	6.046	4.512	3.049	2.366	1.149	0.711	0.511	0.853	1.403	4.586	4.620
2011	1.681	1.268	2.570	1.041	1.124	0.693	0.614	0.520	0.398	0.558	1.821	2.004
2012	0.987	1.354	1.127	3.248	1.072	0.734	0.583	0.479	0.431	1.054	1.654	4.392
2013	4.173	4.154	5.099	2.790	1.062	1.155	0.589	0.478	0.535	1.175	2.722	2.177
2014	4.187	6.493	2.210	1.234	1.240	1.000	1.017	0.664	2.005	0.891	5.153	5.578
	<b>Vrijednosti statističkih vrijednosti srednjih mjesečnih protoka</b>											
Qmin	0.987	1.268	0.787	1.041	0.683	0.517	0.425	0.369	0.353	0.403	0.809	1.105
Qsred	3.179	2.774	2.669	2.231	1.461	0.920	0.626	0.560	0.935	1.100	2.653	3.784
Qmax	5.507	6.493	5.099	4.254	2.444	1.977	1.091	1.566	2.005	2.238	5.153	6.169
σ	1.303	1.475	1.346	0.981	0.556	0.350	0.163	0.251	0.627	0.530	1.119	1.595
Cv	0.410	0.532	0.504	0.440	0.381	0.381	0.260	0.449	0.671	0.482	0.422	0.422
Cs	-1.073	1.553	-0.949	-0.883	-0.897	3.411	3.972	15.019	-1.294	-0.558	0.015	-1.178
Ca	0.039	1.386	0.169	0.459	0.601	1.698	1.920	3.701	0.741	0.673	0.601	-0.031
Rang	4.521	5.225	4.311	3.213	1.760	1.460	0.666	1.197	1.652	1.835	4.345	5.064
Gornji kvartil	4.234	3.329	3.318	2.952	1.916	1.037	0.639	0.538	1.555	1.408	3.262	5.133
Donji kvartil	1.980	1.604	1.409	1.413	1.111	0.701	0.551	0.467	0.441	0.721	1.799	2.311
Medijan	3.102	2.480	2.728	2.041	1.239	0.804	0.595	0.510	0.588	0.972	2.626	3.750

U nastavku će na slikama 5.1., 5.2., 5.3. i 5.4. biti dan grafički prikaz hoda karakterističkih vrijednosti srednjih mjesečnih protoka tijekom godine za Jadro i Žrnovnicu.



Slika 5.1. Hod karakterističnih srednjih mjesečnih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro



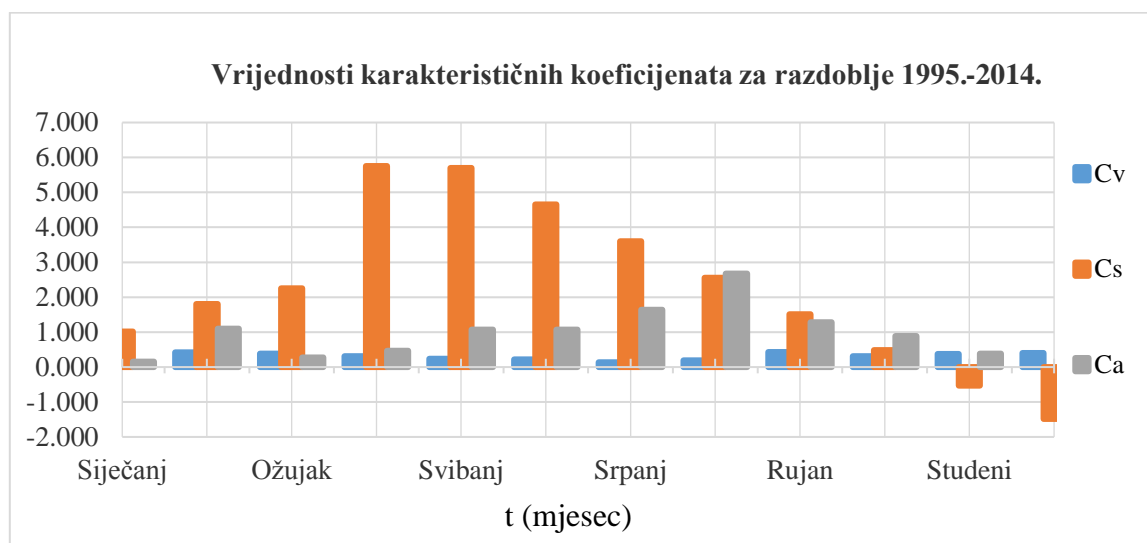
Slika 5.2. Hod karakterističnih srednjih mjesečnih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu

Iz prethodnih slika i tablica je vidljivo da se najveći raspon između minimalnih i maksimalnih vrijednosti mjesečnih protoka pojavio se u veljači i iznosio je  $19,788 \text{ m}^3/\text{s}$  za Jadro, a za Žrnovnicu  $5,225 \text{ m}^3/\text{s}$ .

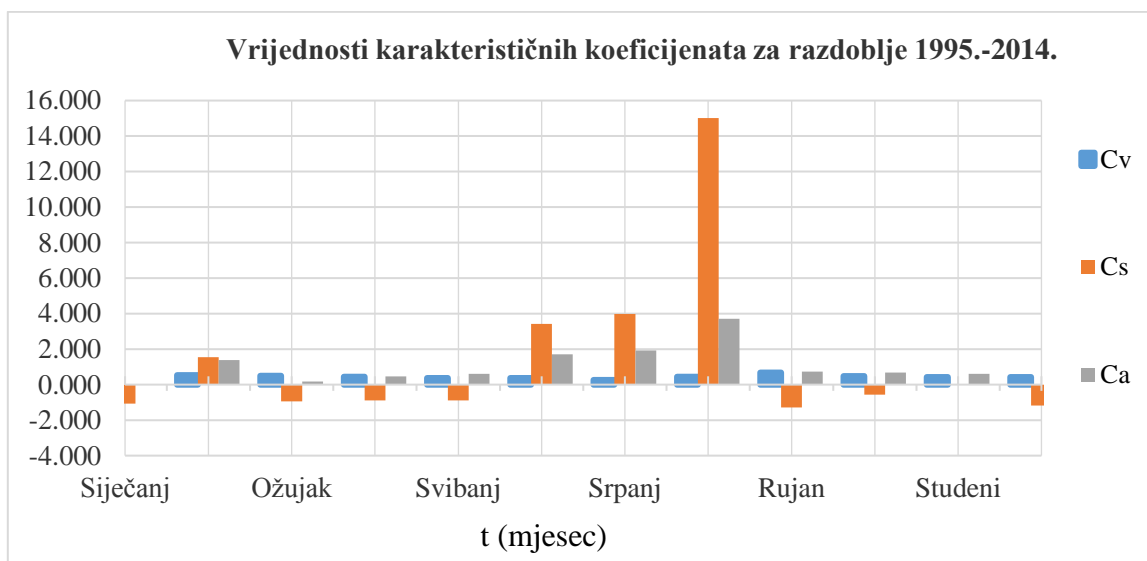
Najniži srednji mjesečni protoci Jadra i Žrnovnice se javljaju tijekom srpnja i kolovoza, dok se maksimalni protoci javljaju u zimskim mjesecima prosincu, siječnju i veljači.



Standardna devijacija Jadra je 3-4 puta veća od Žrnovnice, što ukazuje na veću raspršenost srednjih mjesečnih protoka Jadra od njihove aritmetičke sredine.

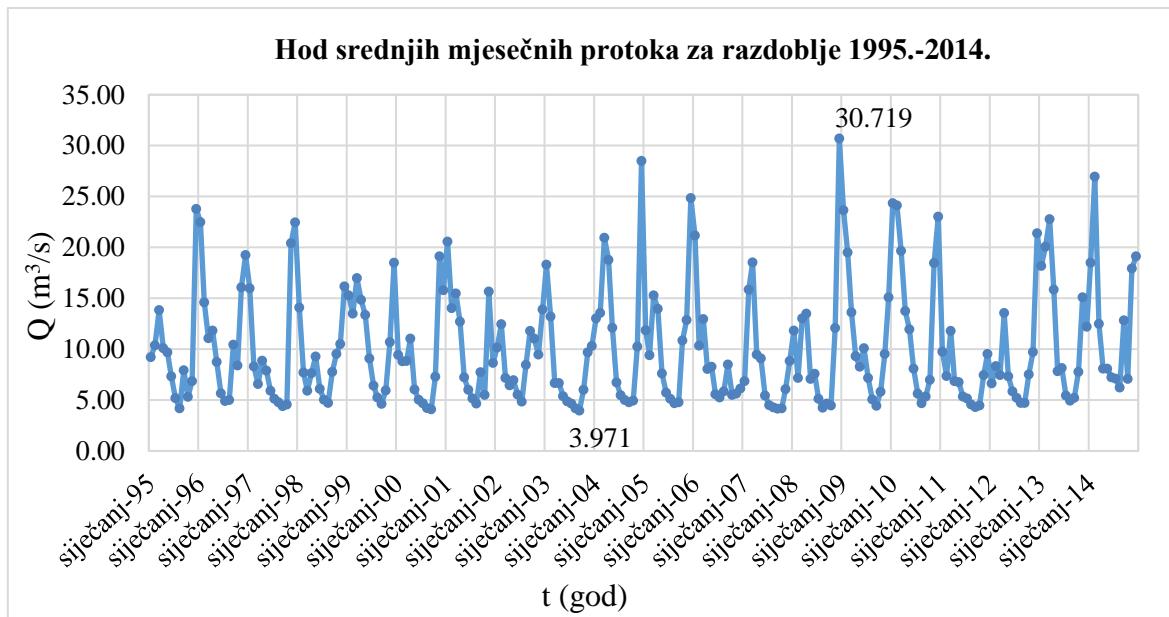


Slika 5.3. Vrijednosti karakterističnih koeficijenata za razdoblje 1995.-2014. za Jadro

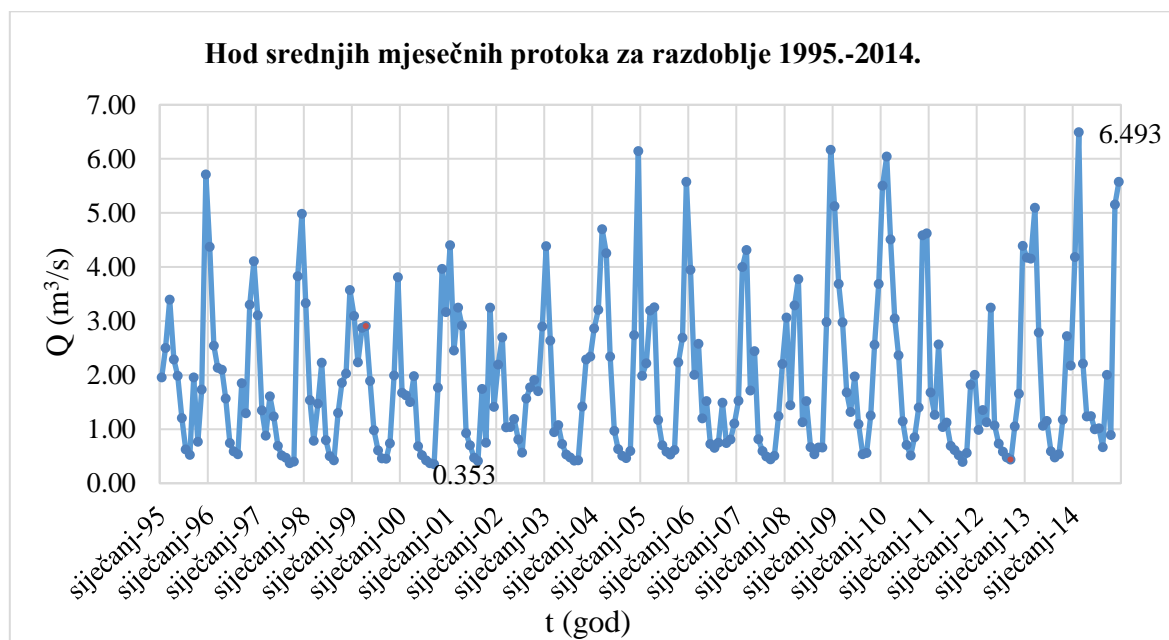


Slika 5.4. Vrijednosti karakterističnih koeficijenata za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu

Na osnovu podataka prikazani tablicama 5.1. i 5.2. u nastavku je dan hod srednjih mjesečnih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro i Žrnovnicu.



Slika 5.5. Hod srednjih mjesečnih protoka Jadrta za razdoblje 1995.-2014. prikazano po pojedinim mjesecima i godinama



Slika 5.6. Hod srednjih mjesečnih protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. prikazano po pojedinim mjesecima i godinama

Maksimalni srednji mjesečni protok Jadrta za promatrano razdoblje 1995.-2014. zabilježen je 2008. u prosincu i iznosi  $30,791 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je minimalni zabilježen u 2003. u rujnu i iznosi  $3,971 \text{ m}^3/\text{s}$ . Maksimalni godišnji protok Žrnovnice zabilježen je 2014. u veljači i iznosi  $6,493 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je minimalni zabilježen 2000. u rujnu i iznosi  $0,353 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 6. HIDROLOŠKA ANALIZA DNEVNIH KOLIČINA ISTJECANJA NA IZVORIMA JADRA I ŽRNOVNICE

### 6.1. Dnevne količine istjecanja na izvorima Jadra i Žrnovnice

U nastavku je prikazana analiza srednjih dnevnih protoka za razdoblje 1995.-2014. na izvorima Jadra i Žrnovnice. U tablicama 6.1. i 6.2. dane su statističke karakteristike srednjih dnevnih protoka za promatrano razdoblje prikazano po pojedinim godinama.

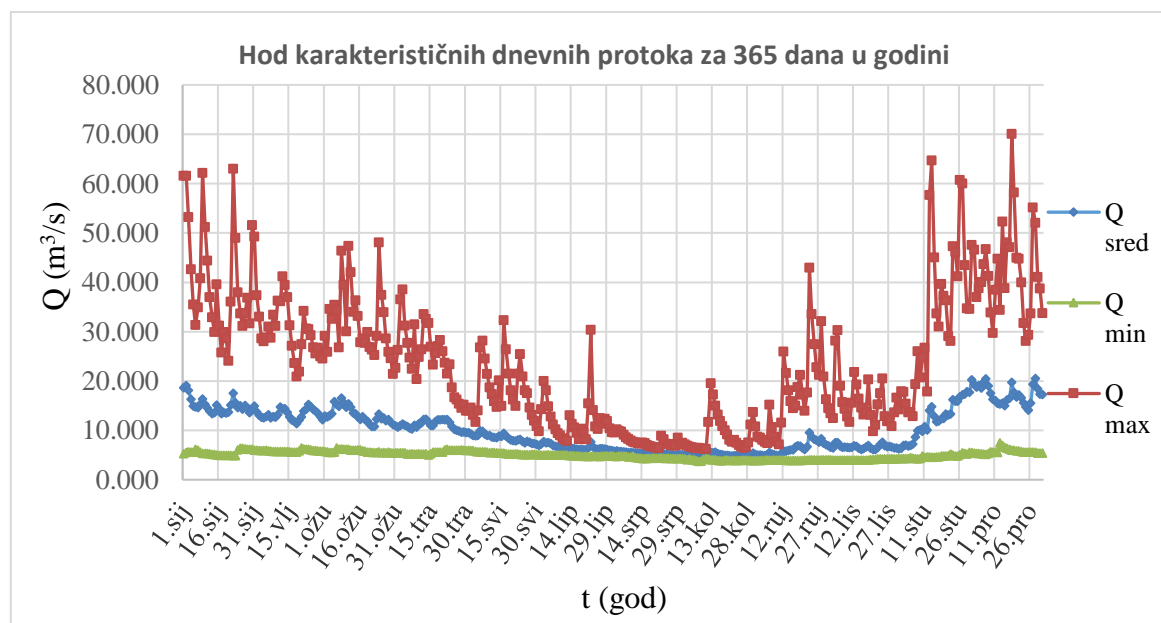
Tablica 6.1.. Vrijednosti statističkih parametara srednjih dnevnih protoka Jadra

	Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih dnevnih protoka po pojedinim godinama											
	$\mu$	Modus	Medijan	$\sigma$	Cv	Qmin	Qmax	Rang	Gornji kvartal	Donji kvartal	Ca	Cs
1995	9.493	5.300	7.310	8.289	0.873	3.720	52.330	48.610	10.650	5.310	2.744	9.986
1996	11.530	4.960	8.215	8.289	0.719	4.370	61.560	57.190	15.015	5.580	2.065	5.709
1997	9.621	4.440	6.270	8.315	0.864	4.070	64.660	60.590	9.960	4.940	2.945	11.400
1998	8.724	4.680	7.440	4.759	0.546	4.490	36.160	31.670	10.240	5.410	2.306	7.172
1999	11.191	5.730	9.820	6.499	0.581	4.500	48.080	43.580	14.325	5.730	1.574	4.057
2000	8.688	4.840	7.015	6.936	0.798	3.980	60.740	56.760	9.495	4.840	3.985	21.114
2001	10.249	4.810	7.496	7.301	0.712	4.350	53.648	49.298	12.906	5.313	2.536	8.920
2002	9.003	5.975	7.521	4.631	0.514	4.621	32.529	27.908	10.438	5.957	1.993	4.678
2003	7.806	5.018	5.710	5.354	0.686	3.869	31.567	27.698	8.107	4.663	2.308	5.357
2004	12.023	4.871	8.125	9.419	0.783	4.485	70.057	65.573	16.208	5.221	2.038	5.850
2005	10.613	5.119	7.262	7.616	0.718	4.385	47.587	43.201	13.318	5.309	1.941	4.105
2006	8.613	4.829	6.224	6.050	0.702	4.805	61.590	56.785	9.683	5.328	4.363	27.607
2007	8.061	4.326	5.689	5.909	0.733	3.939	46.397	42.459	8.844	4.326	2.588	8.772
2008	10.152	4.205	6.561	8.720	0.859	4.166	60.310	56.144	11.249	4.767	2.555	7.900
2009	10.924	5.244	8.899	7.743	0.709	4.231	62.975	58.744	12.139	5.627	2.377	8.097
2010	13.781	4.507	10.131	9.756	0.708	4.384	62.151	57.767	19.181	5.675	1.400	2.265
2011	6.962	4.800	6.038	3.326	0.478	4.076	28.616	24.540	7.778	4.831	2.733	10.952
2012	8.542	5.700	6.212	5.620	0.658	4.320	41.690	37.370	8.749	5.288	2.395	6.524
2013	11.905	4.690	8.223	8.556	0.719	4.690	47.292	42.602	15.000	5.816	1.602	2.065
2014	12.537	5.998	8.533	8.350	0.666	5.780	43.676	37.896	15.267	6.840	1.654	2.045

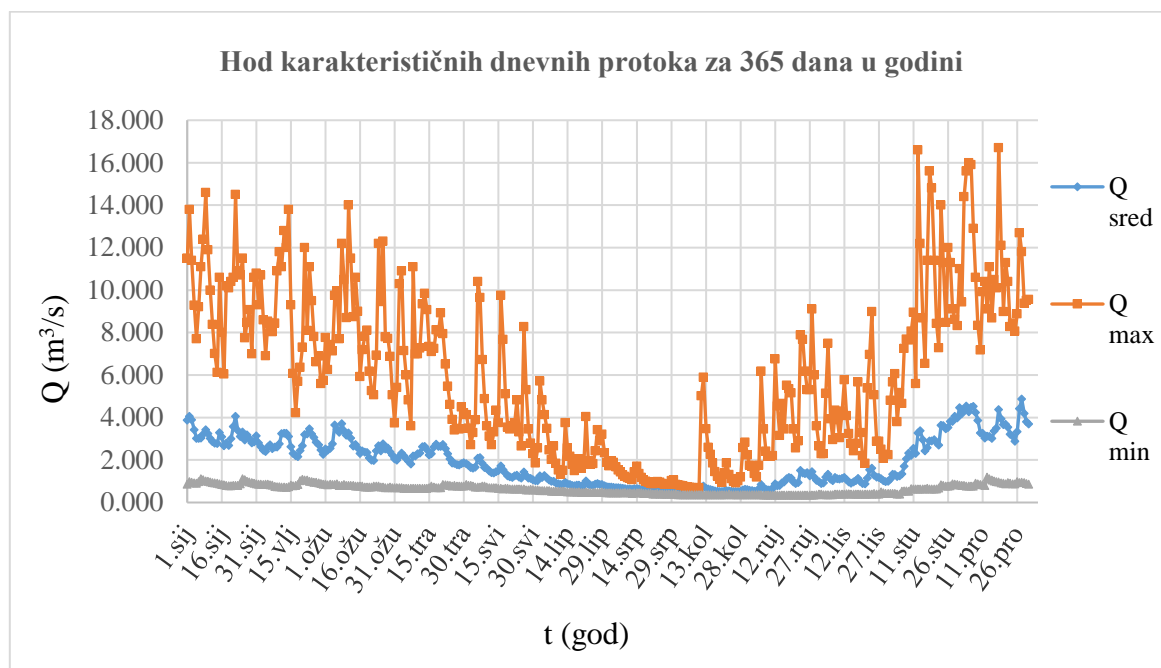
Tablica 6.1.2. Vrijednosti statističkih parametara srednjih dnevnih protoka Žrnovnice

	Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih dnevnih protoka po pojedinim godinama											
	$\mu$	Modus	Medijan	$\sigma$	Cv	Qmin	Qmax	Rang	Gornji kvartal	Donji kvartal	Ca	Cs
1995	2.054	0.504	1.330	1.897	0.924	0.475	11.100	10.625	2.530	0.769	2.040	4.509
1996	2.095	0.697	1.280	2.003	0.956	0.420	11.500	11.080	2.660	0.697	1.889	3.440
1997	1.623	0.475	0.769	2.007	1.237	0.344	11.800	11.456	1.840	0.475	2.561	7.298
1998	1.658	0.420	1.140	1.569	0.947	0.368	10.400	10.032	2.170	0.663	2.642	8.890
1999	1.837	0.420	1.330	1.606	0.874	0.393	9.740	9.347	2.530	0.597	1.730	3.747
2000	1.499	0.368	0.965	1.677	1.118	0.344	12.000	11.656	1.840	0.475	3.129	12.262
2001	1.883	0.697	1.160	1.826	0.970	0.396	10.600	10.204	2.420	0.642	2.026	4.854
2002	1.609	1.030	1.160	1.203	0.748	0.503	7.210	6.707	1.950	0.832	2.014	4.336
2003	1.468	1.610	0.809	1.639	1.116	0.373	10.200	9.827	1.670	0.500	2.761	8.613
2004	2.452	0.576	1.455	2.606	1.063	0.446	16.700	16.254	3.190	0.576	1.908	4.053
2005	2.064	1.010	1.240	2.072	1.004	0.478	11.000	10.522	2.550	0.643	2.107	4.583
2006	1.461	0.636	0.943	1.388	0.950	0.613	13.800	13.187	1.740	0.693	4.339	27.725
2007	1.681	1.010	1.010	1.872	1.114	0.397	12.200	11.803	1.970	0.547	2.735	8.557
2008	2.162	0.576	1.105	2.284	1.057	0.463	12.800	12.337	2.720	0.636	2.034	4.109
2009	2.199	0.535	1.470	2.140	0.973	0.393	14.500	14.107	2.600	0.775	2.134	5.334
2010	2.923	1.300	2.010	2.751	0.941	0.408	14.600	14.192	4.070	0.771	1.488	1.938
2011	1.192	1.610	0.847	1.047	0.878	0.372	7.830	7.458	1.480	0.566	3.115	13.221
2012	1.426	0.570	0.860	1.579	1.108	0.380	12.300	11.920	1.518	0.580	3.391	14.435
2013	2.164	0.470	1.150	2.581	1.193	0.390	14.000	13.610	2.290	0.670	2.513	6.376
2014	2.611	1.640	1.380	3.091	1.184	0.579	16.600	16.021	2.790	0.851	2.492	6.196

Na slikama 6.1.1. i 6.1.2. prikazan je hod karakterističnih dnevnih protoka (minimalnih, srednjih, maksimalnih) tijekom 365 dana u godini za Jadro i Žrnovnicu.



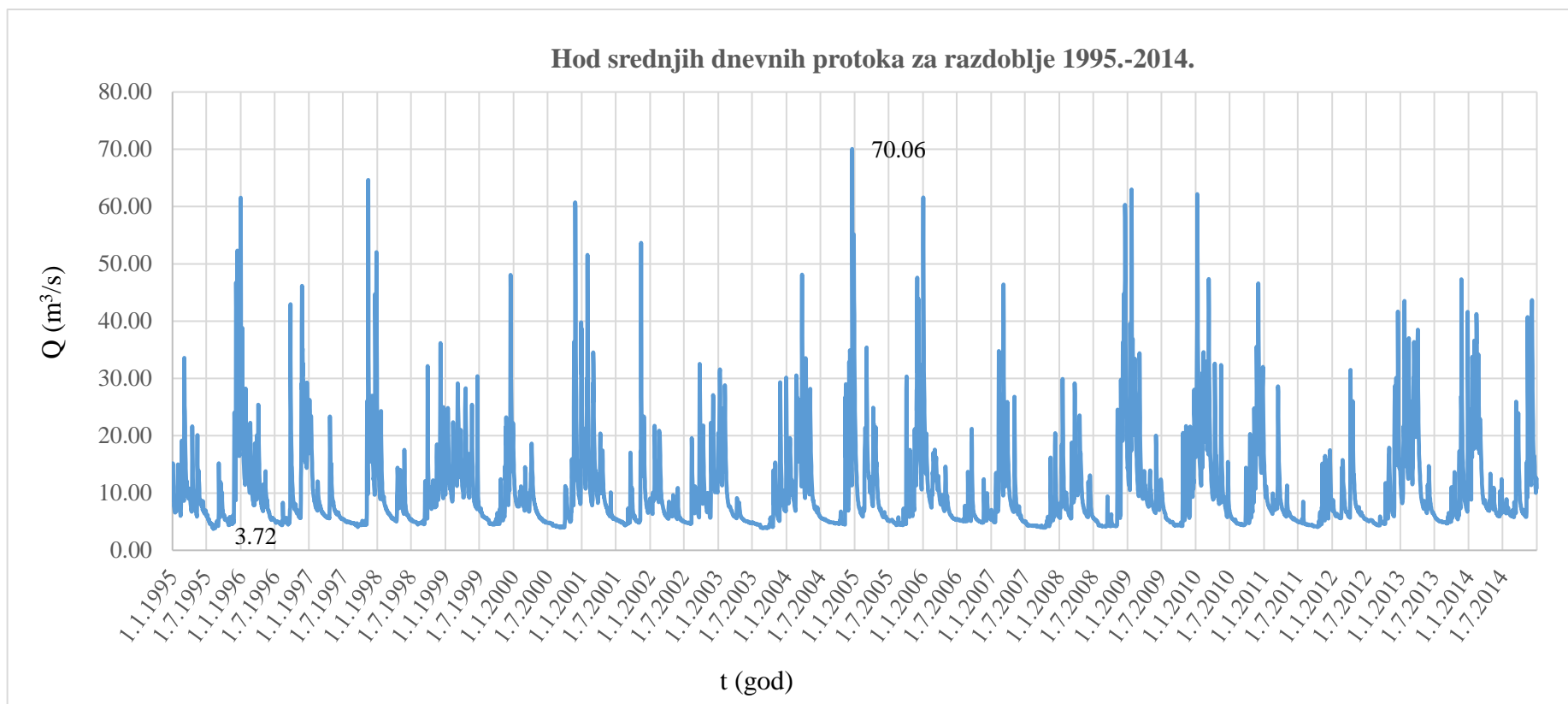
Slika 6.1.1. Hod karakterističnih dnevnih protoka Jadra za 365 dana u godini



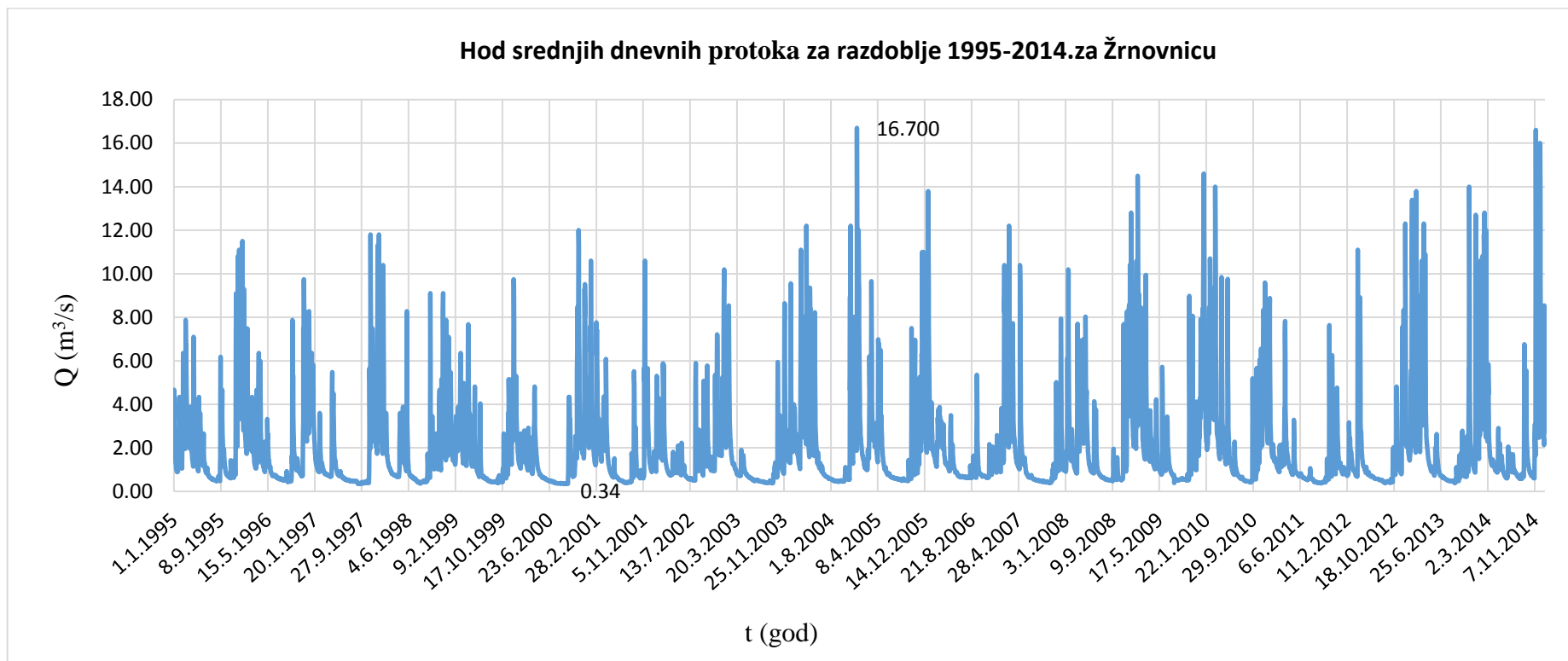
Slika 6.1.2. Hod karakterističnih dnevnih protoka Žrnovnice za 365 dana u godini

Na slikama 6.1.1. i 6.1.2. uočljivo je da se veći protoci javljaju u zimskom periodu u prosincu i siječnju kada postoje i veće varijacije u maksimalnim dnevnim protocima.

Iz slika 6.1.3. i 6.1.4. vidljivo je da maksimalni srednji dnevni protok Jadra za promatrano razdoblje 1995.-2014. zabilježen 18. prosinca 2004. i iznosi  $70,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je minimalni zabilježen 7. kolovoza 1995. i iznosi  $3,72 \text{ m}^3/\text{s}$ . Maksimalni godišnji protok Žrnovnice zabilježen je 18. prosinca 1997. i iznosi  $16,70 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je minimalni zabilježen nekoliko puta u rujnu 2004. i iznosi  $0,344 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 6.1.3. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014.



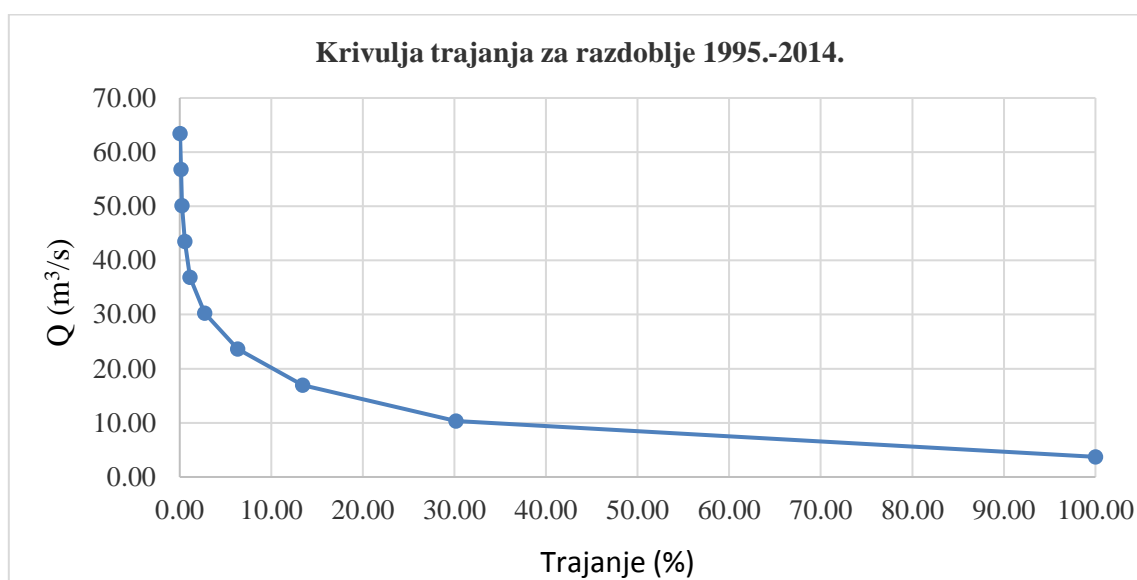
Slika 6.1.4. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.

## 6.2. Krivulje trajanja i učestalosti za Jadro i Žrnovnicu

U nastavku će biti prikazane krivulje trajanja i učestalosti Jadra i Žrnovnice za cjelokupno razdoblje 1995.-2014. i za svaku od pojedinih godina čiji su ulazni podataka srednje dnevni protoci za promatrano razdoblje.

Tablica 6.2.1. Prikaz vrijednosti krivulje trajanja i učestalosti Jadra po razredima za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.

Razredi	Učestalost(dani)	Učestalost (%)	Trajanje (dani)	Trajanje (%)
3,72-10,35	5102	69.84	7305	100.00
10,35-16,99	1223	16.74	2203	30.16
16,99-23,62	519	7.10	980	13.42
23,62-30,25	262	3.59	461	6.31
30,25-36,89	118	1.62	199	2.72
36,89-43,52	39	0.53	81	1.11
43,52-50,16	23	0.31	42	0.57
50,16-56,79	8	0.11	19	0.26
56,79-63,42	9	0.12	11	0.15
63,42-70,06	2	0.03	2	0.03
	7305	100.00		

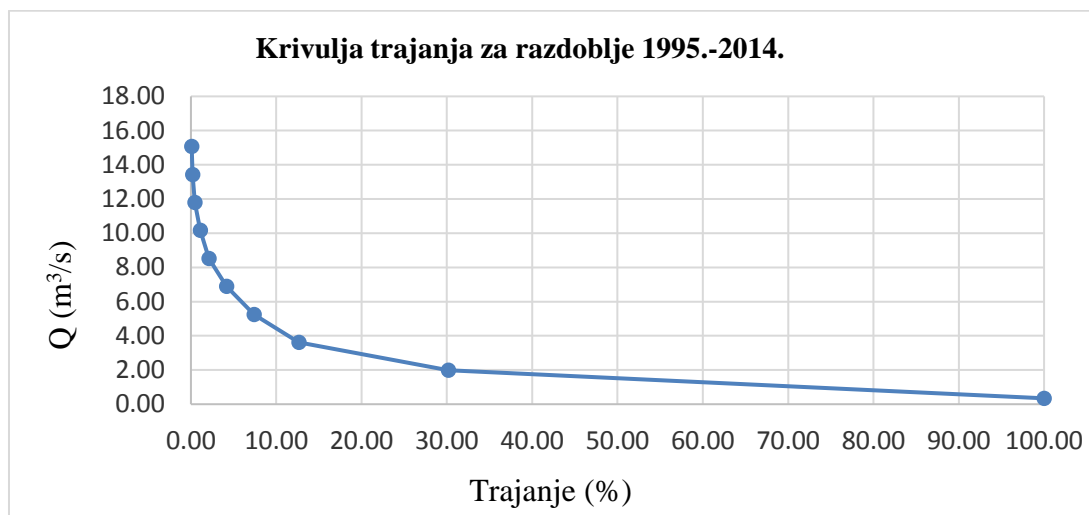


Slika 6.2.1. Krivulja trajanja Jadra za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.



Tablica 6.2.2. Prikaz vrijednosti krivulje trajanja i učestalosti Jadra po razredima za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.

Razredi	Učestalost(dani)	Učestalost (%)	Trajanje (dani)	Trajanje (%)
0,34-1,98	5101	69.83	7305	100.00
1,98-3,62	1281	17.54	2204	30.17
3,62-5,25	382	5.23	923	12.64
5,25-6,89	235	3.22	541	7.41
6,89-8,52	153	2.09	306	4.19
8,52-10,16	74	1.01	153	2.09
10,16-11,79	45	0.62	79	1.08
11,79-13,43	20	0.27	34	0.47
13,43-15,06	8	0.11	14	0.19
15,06-16,70	6	0.08	6	0.08
	7305	100.00		

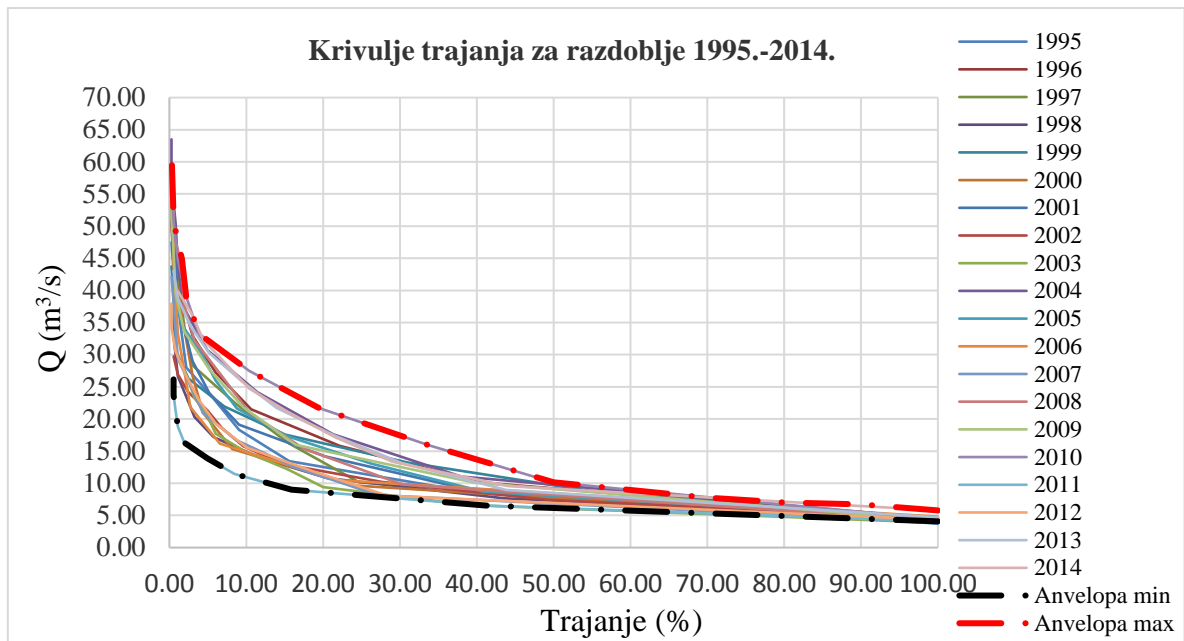


Slika 6.2.2. Krivulja trajanja Žrnovnice za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.

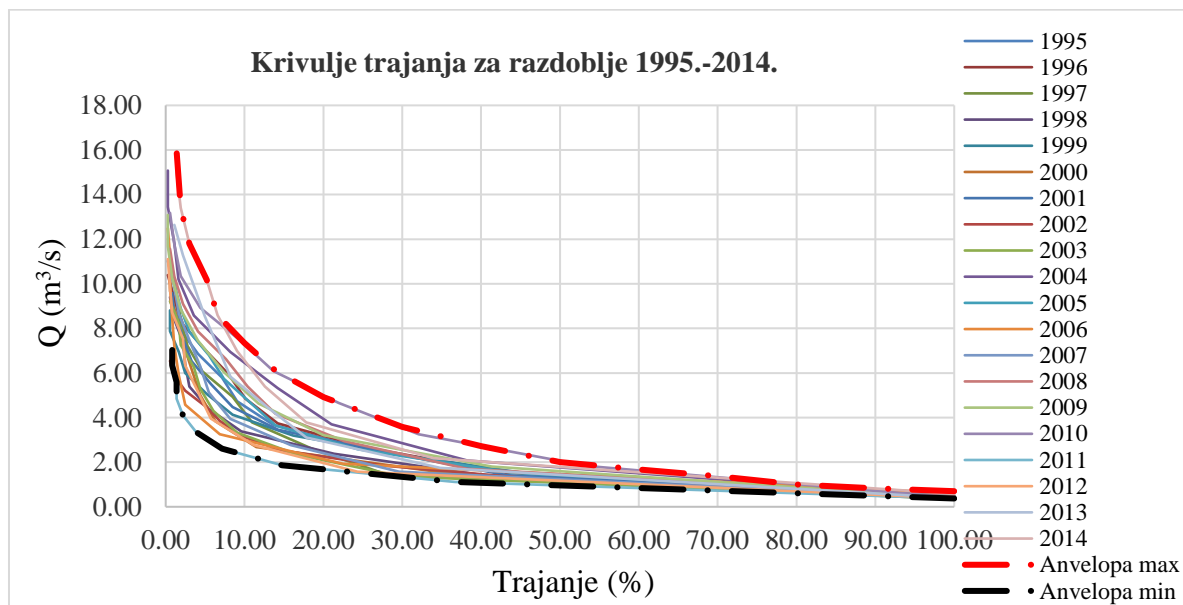
Iz priloženih krivulja trajanja je vidljivo da se kod rijeke Jadro više od 50% vremena za promatrano razdoblje od 20 godina pojavljuje protok veći ili jednak 9,89 m<sup>3</sup>/s.

Iz priloženih krivulja je vidljivo da se kod rijeke Žrnovnice više od 50% vremena za promatrano razdoblje od 20 godina pojavljuje protok veći ili jednak 1,86 m<sup>3</sup>/s.

Pad krivulja trajanja je blag što ukazuje na postojanje rezervi podzemne vode.



Slika 6.2.3. Krivulja trajanja Jadra za svaku godinu za razdoblje 1995.-2014. s anvelopa minimalnih i maksimalnih vrijednosti

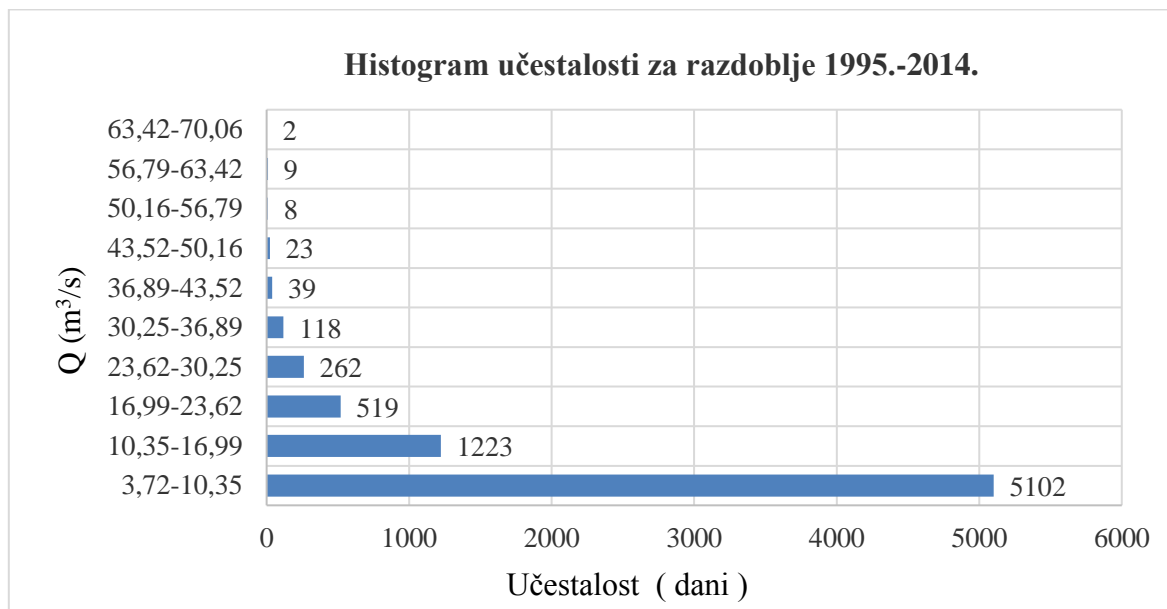


Slika 6.2.4. Krivulja trajanja Žrnovnice za svaku godinu za razdoblje 1995.-2014. s anvelopa minimalnih i maksimalnih vrijednosti

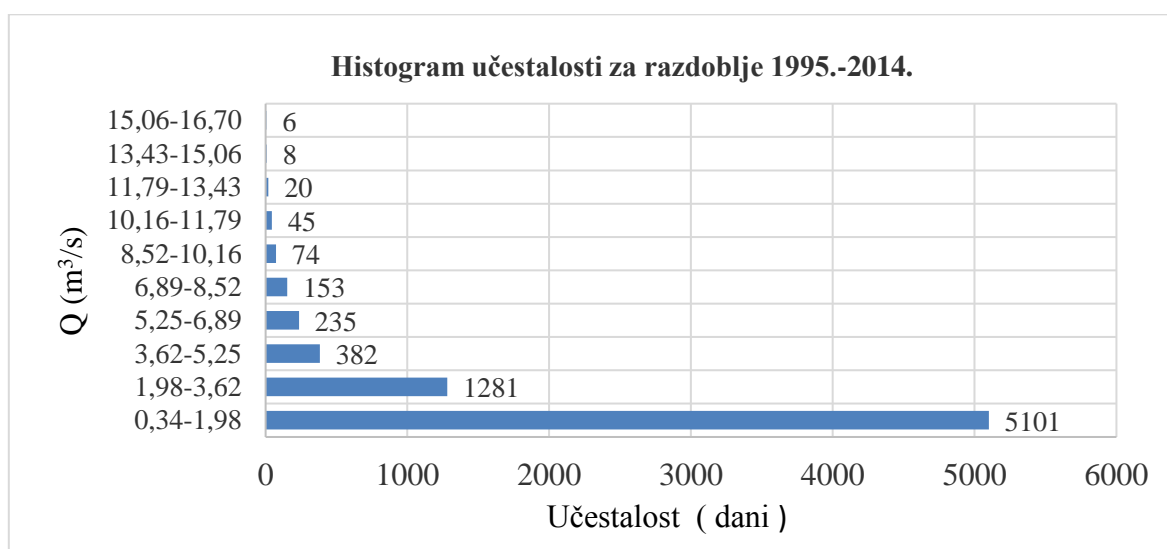
Može se uočiti da je za analizirano razdoblje najsušnija godina za Jadro i Žrnovnicu bila 2011. koja se u potpunosti poklapa sa anvelopom koja spaja minimalne vrijednosti protoka krivulje trajanja. Pad krivulja trajanja je blag što ukazuje na to da izvori sadrže zalihe podzemne vode

što je od značaja u ljetnom periodu godine. Godina 2010. za Jadro i Žrnovnicu bila je najbogatija vodom u promatranom vremenskom razdoblju.

U nastavku su prikazane krivulje učestalosti Jadra i Žrnovnice za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.



Slika 6.2.5. Histogram učestalosti Jadra za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.

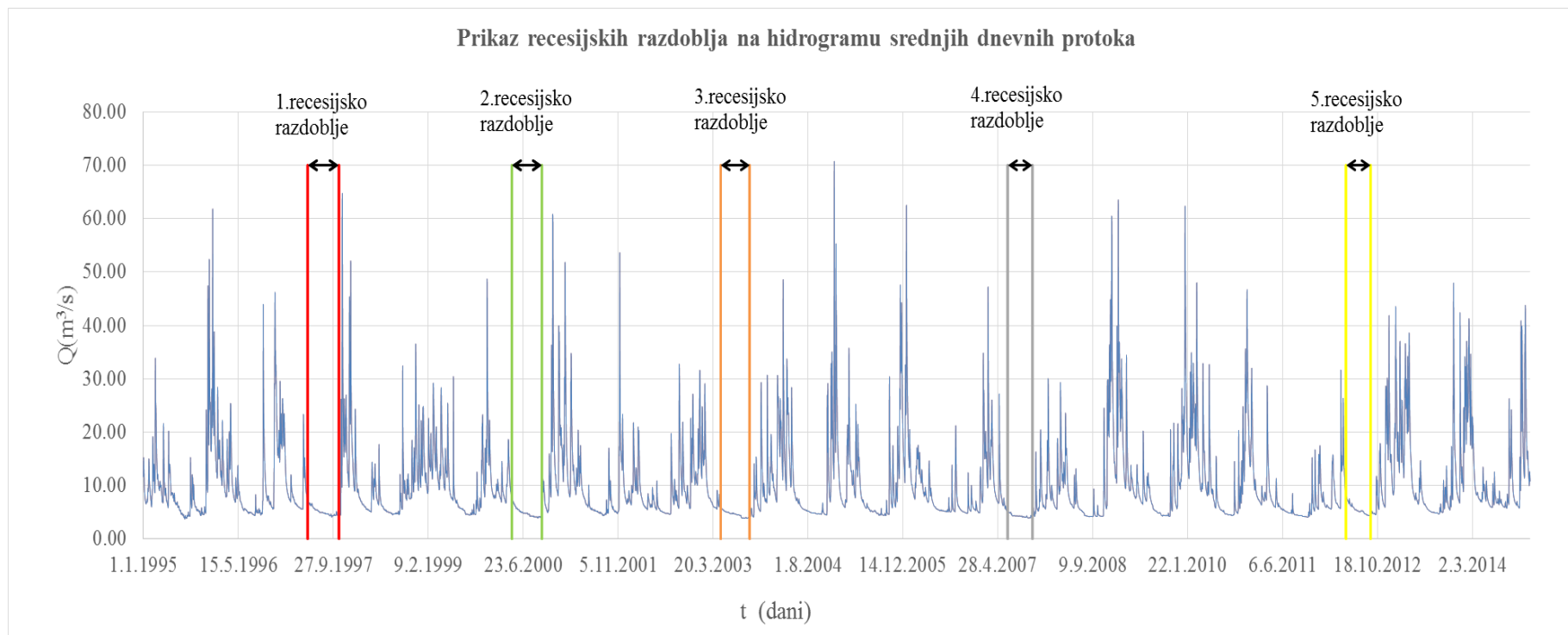


Slika 6.2.6. Histogram učestalosti Žrnovnice za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.

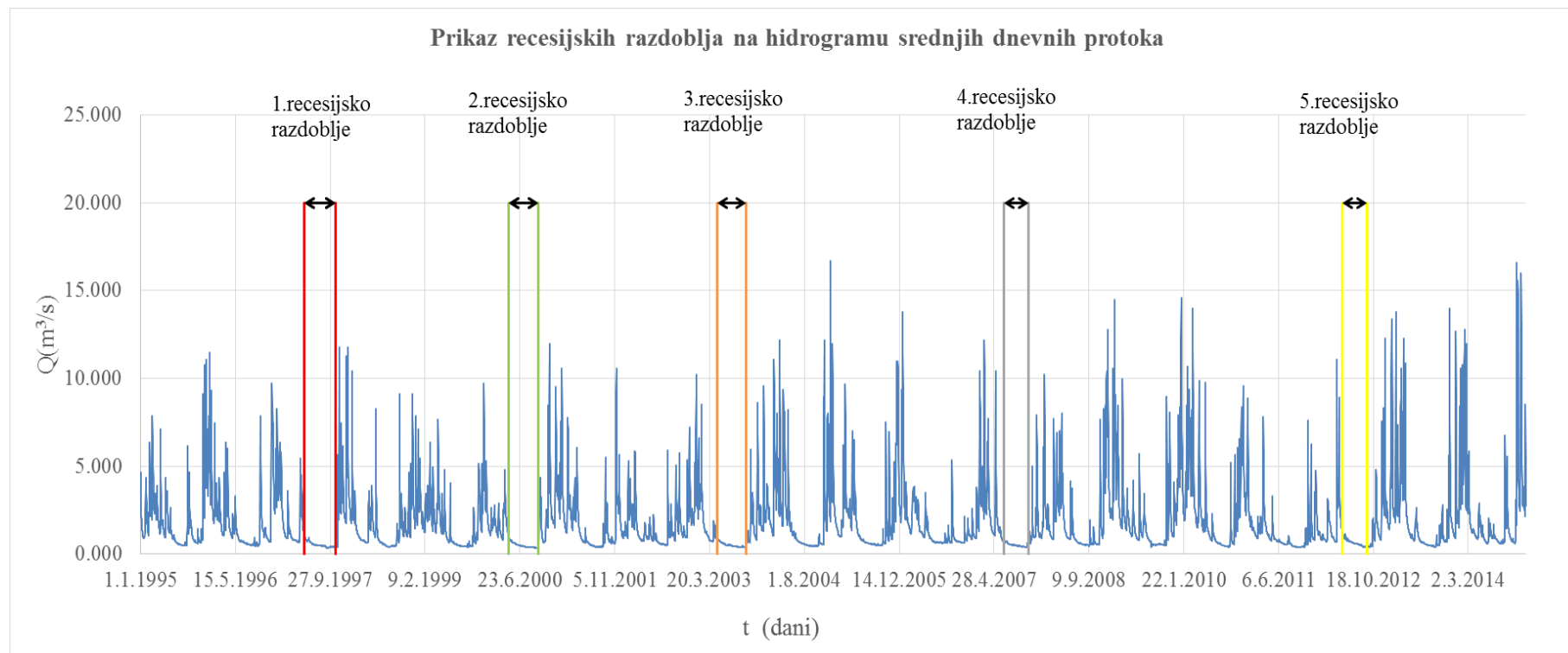
## **7. ANALIZA RECESIJSKIH KRIVULJA**

U ovom poglavlju će se provoditi analiza recesijske krivulje kod srednje dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice za vremensko razdoblje 1995.-2014. Kao što je već prethodno rečeno u poglavlju 3.2., recesijska krivulja predstavlja važan dio hidrograma otjecanja, jer na temelju njenog oblika dobivamo uvid o hidrogeološkim karakteristikama vodonosnika. U nastavku će se prikazati najizraženija recesijska razdoblja Jadra i Žrnovnice za vremenski period 1995.-2014. rijeke Jadro i Žrnovnice. Unatoč tome što kroz promatrani period od dvadeset godina postoji više recesijskih razdoblja, za potrebe ovoga rada izdvojena su karakteristična razdoblja promatrana tijekom ljetnog sušnog perioda, jer je tada zabilježen najveći broj dana koji čiji hidrogram ima oblik recesijske krivulje.

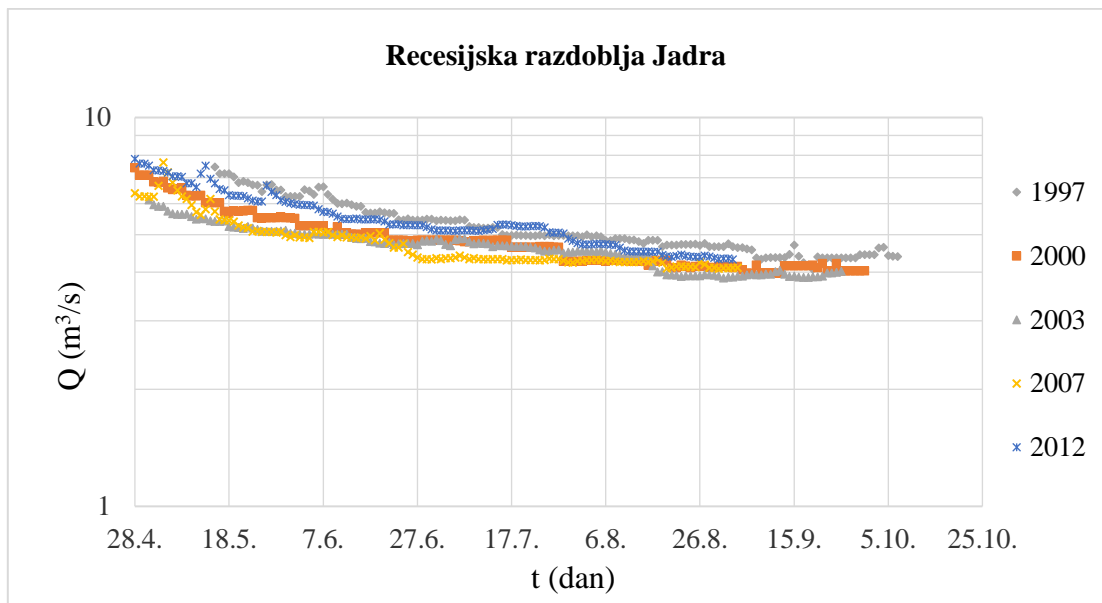
Zbog sličnosti izvora Jadra i Žrnovnice glede oblika hidrograma i recesijskih razdoblja koja se pojavljuju u gotovo istom vremenskom intervalu uzete su iste su godine najizraženijih recesijskih razdoblja, a to su: 1997., 2000., 2003., 2007. i 2012.



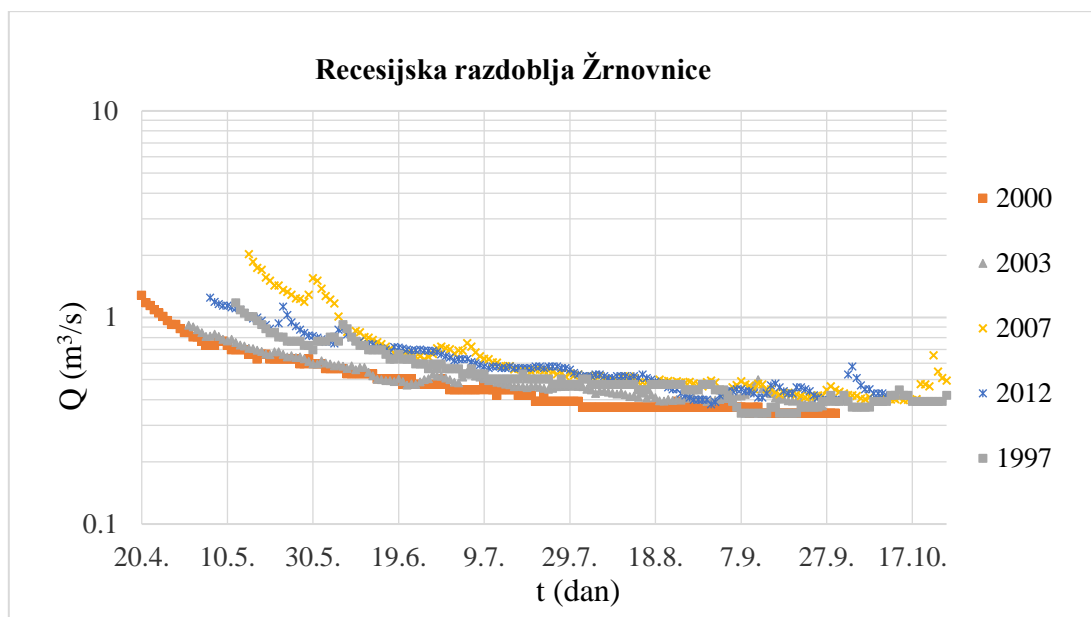
Slika 7.1. Recesijska razdoblja prikazana na hidrogram srednjih dnevnih protoka Jadra



Slika 7.2. Recesijska razdoblja prikazana na hidrogram srednjih dnevnih protoka Žrnovnice



Slika 7.3. Recesijska razdoblja Jadra



Slika 7.4. Recesijska razdoblja Žrnovnice

Tablica 7.1. Prikaz recesijskih koeficijenata za odabrana razdoblja

Godina	Jadro	Žrnovnica
	$\alpha \text{ (dan}^{-1}\text{)}$	
1997	0.00274	0.00592
2000	0.00342	0.00629
2003	0.00259	0.00472
2007	0.00309	0.00713
2012	0.00424	0.00621

Iz slika 7.1. i 7.2. vidljivo je da se u većini slučajeva pojavljuje složen sistem pražnjenja, jer nakon vršnih protoka dolazi do strmog opadanja hidrograma, a potom nastupa razdoblje blagog opadanja hidrograma sa dužim vremenskim trajanjem. U tablici 7.1. prikazani recesijski koeficijenti za određena recesijska razdoblja su jako mali, što ukazuje na spori sistem pražnjenja kroz pukotine malog promjera. Također se može zaključiti da su recesijski koeficijenti Jadra manja nego kod Žrnovnice, što je od velike važnosti za vodoopskrbu. Takvo ponašanje hidrograma je upravo karakteristično za krške izvore, jer se prvo iskorištavaju rezerve vode iz krupnih krških kanala i potoka, a potom iz sitnih pukotina s manjim promjerom.

Kao što je vidljivo na slikama 7.3. i 7.4. u sušnom ljetnom periodu u vrijeme izostanka padalina, izvori Jadra i Žrnovnice napajaju se samo podzemnim vodama. Te zalihe su uskladištene u njihovim hidrogeološkim strukturama tijekom prethodnog kišnog perioda.

Kao granicu protoka ispod koje dolazi do recesije uzet je protok od 7 m<sup>3</sup>/s za izvor Jadra i 1 m<sup>3</sup>/s za izvor Žrnovnice. 1997.godine zabilježen je najduži recesijski period za izvor Jadra i Žrnovnice. Na recesijskim krivuljama na pojedinim mjestima mogu se uočiti mali skokovi protoka koji su rezultati palih oborina tijekom recesijskog razdoblja.

U nastavku su dane tablice 7.2. i 7.3. u kojima su prikazani omjeri između brze i spore komponente otjecana za svaku hidrološku godinu (1.10.-30.9.) za razdoblje 1995.-2014.

Tablica 7.2. Omjer brze i spore komponente otjecanja Jadra

Godina		V ukupno (m <sup>3</sup> )	V bazno (m <sup>3</sup> )	V direktno (m <sup>3</sup> )	Vdir/Vbaz
1995	1996	343524240	174066624	169457616	0.973521587
1996	1997	293121072	205526592	87594480	0.426195361
1997	1998	303470064	160877232	142592832	0.886345633
1998	1999	355413312	231614208	123799104	0.534505655
1999	2000	256160016	162292032	93867984	0.578389357
2000	2001	355568443.2	193385534.4	162182908.8	0.838650674
2001	2002	270100785.6	174029860.8	96070924.8	0.552037015
2002	2003	267866102.8	163856657.9	104009444.9	0.634758735
2003	2004	332515900	179690117.1	152825782.9	0.850496318
2004	2005	321394335.1	173180107.1	148214227.9	0.855838643
2005	2006	354342265.5	172368614.4	181973651	1.055723814
2006	2007	249059896.6	152161136.7	96898759.89	0.636816746
2007	2008	245633335.1	154586680.3	91046654.73	0.588968303
2008	2009	388998239.6	175866558.5	213131681.1	1.211894307
2009	2010	386629546	159473295	227156251	1.424415611
2010	2011	290452090	164716659	125735431	0.763343743
2011	2012	224000730.4	168280540.2	55720190.19	0.331114876
2012	2013	384787065.6	174176611.2	210610454.4	1.209177587
2013	2014	370381766.4	219875817.6	150505948.8	0.684504328

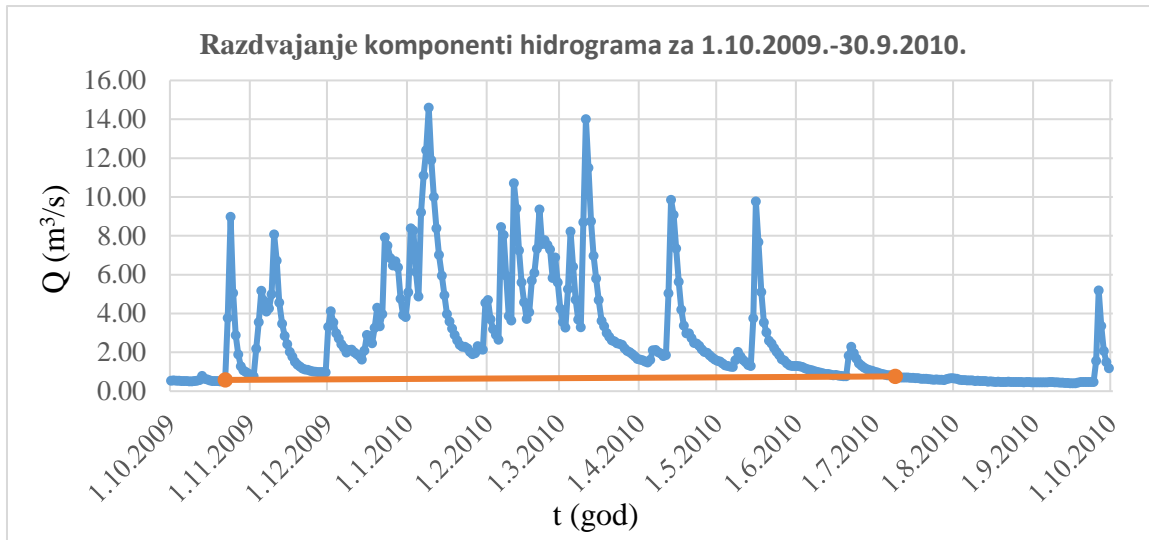


Tablica 7.3. Omjer brze i spore komponente otjecanja Žrnovnice

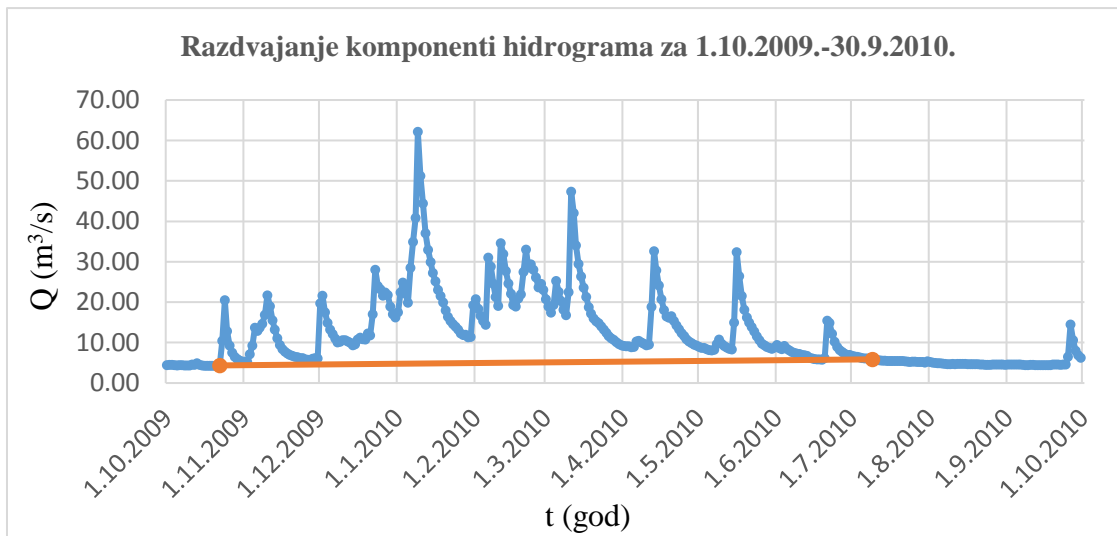
Godina		V ukupno (m <sup>3</sup> )	V bazno (m <sup>3</sup> )	V direktno (m <sup>3</sup> )	Vdir/Vbaz
1995	1996	64901606.4	23803804.8	41097801.6	1.726522375
1996	1997	49719528	25110950.4	24608577.6	0.979993876
1997	1998	56666563.2	49200696	7465867.2	0.151743122
1998	1999	60243393.6	24701846.4	35541547.2	1.43882148
1999	2000	41259542.4	16479115.2	24780427.2	1.503747434
2000	2001	68592484.8	25471497.6	43120987.2	1.692911343
2001	2002	47520259.2	23193777.6	24326481.6	1.048836547
2002	2003	47462068.8	20787624	26674444.8	1.283188728
2003	2004	68347022.4	26216006.4	42131016	1.607072235
2004	2005	62321443.2	22312756.8	40008686.4	1.793085756
2005	2006	66862929.6	24715152	42147777.6	1.70534163
2006	2007	49498905.6	19726675.2	29772230.4	1.509237117
2007	2008	52784827.2	22499553.6	30285273.6	1.346038865
2008	2009	75432729.6	23814086.4	51618643.2	2.167567646
2009	2010	83966328	20849097.6	63117230.4	3.02733632
2010	2011	53985830.4	21008894.4	32976936	1.569665465
2011	2012	37755374.4	20347848	17407526.4	0.855497171
2012	2013	71003520	18678600	52324920	2.801329864
2013	2014	67548988.8	29876904	37672084.8	1.260909926

Iz priloženih tablica zaključuje se da je za hidrološku godinu 1.10.2009. – 30.9.2010. zabilježen najveći odnos između brze i spore komponente pražnjenja, konkretno za Jadro Vdir/Vbaz iznosi 1,42, dok za Žrnovnicu iznosi 3,03.

U nastavku je na slikama 7.5. i 7.6. prikazano razdvajanje brze od spore komponente samo za hidrološku godinu 1.10.2009.-30.9.2010.



Slika 7.5. Razdvajanje komponenti hidrograma Žrnovnice za 1.10.2009.-30.9.2010



Slika 7.6. Razdvajanje komponenti hidrograma Jadra za 1.10.2009.-30.9.2010

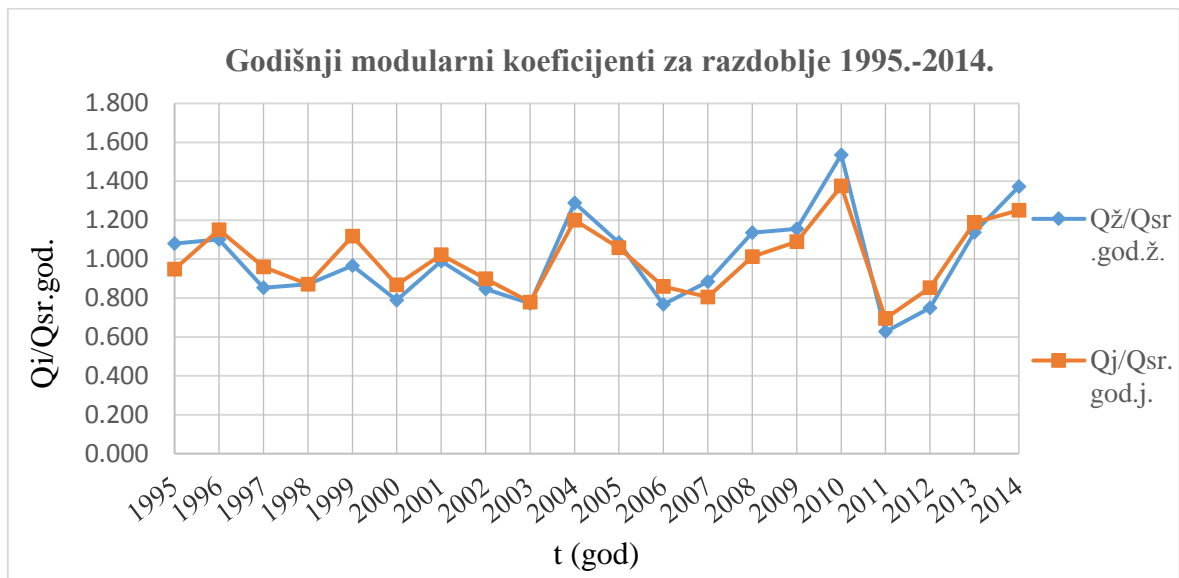
Iz slika 4.1. i 4.2. vidljivo je da su 2010. bili zabilježeni veliki godišnji protoci za promatrano razdoblje 1995.-2014. što se poklapa sa rezultatima na slikama 7.5. i 7.6. iz kojih je vidljivo da je volumen direktnog otjecanja veći od volumena baznog otjecanja.

Pri razdvajanju podzemnog (sporog) od površinskog (brzog) otjecanja osnovni problem je bio odrediti točku na hidrogramu za svaku hidrološku godinu od čijeg trenutka prestaje površinsko otjecanje (Slika 3.1.2.-točka F). Zbog tog razloga rezultati dani u tablicama 7.1. i 7.2. trebaju se uzeti kao približna rješenja.

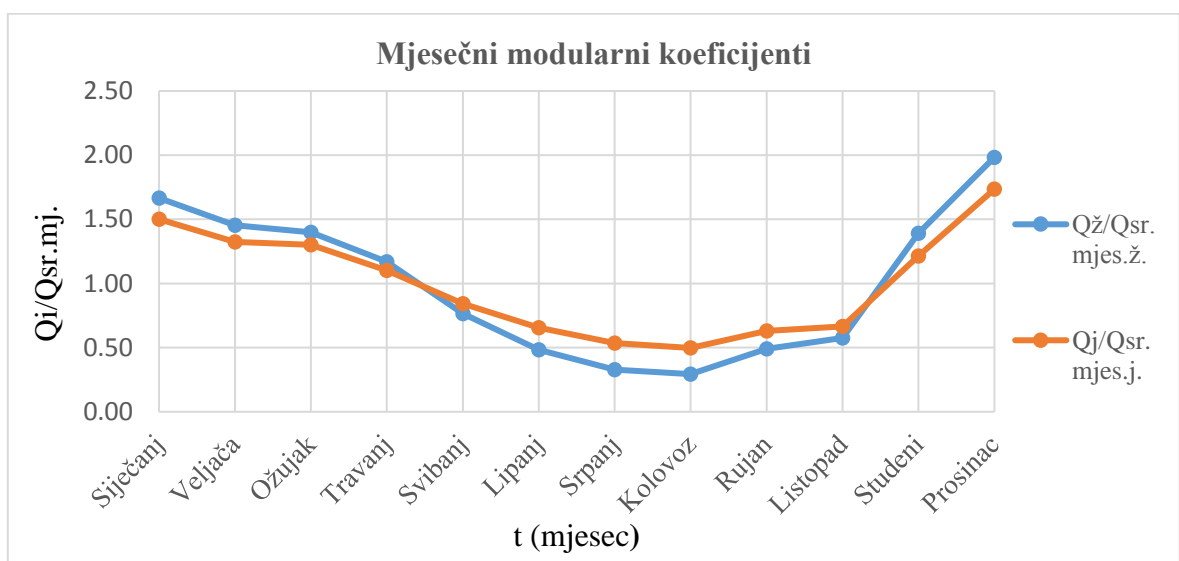
## 8. ANALIZA MODULARNIH KOEFICIJENATA

U ovom poglavlju promatrat će se hidrografi srednje dnevnih, mjesečnih i godišnjih protoka prikazanih putem modularnih koeficijenata. Modularni koeficijent protoka se dobije kada se članovi niza nekoga protoka podijele sa odgovarajući prosjekom.

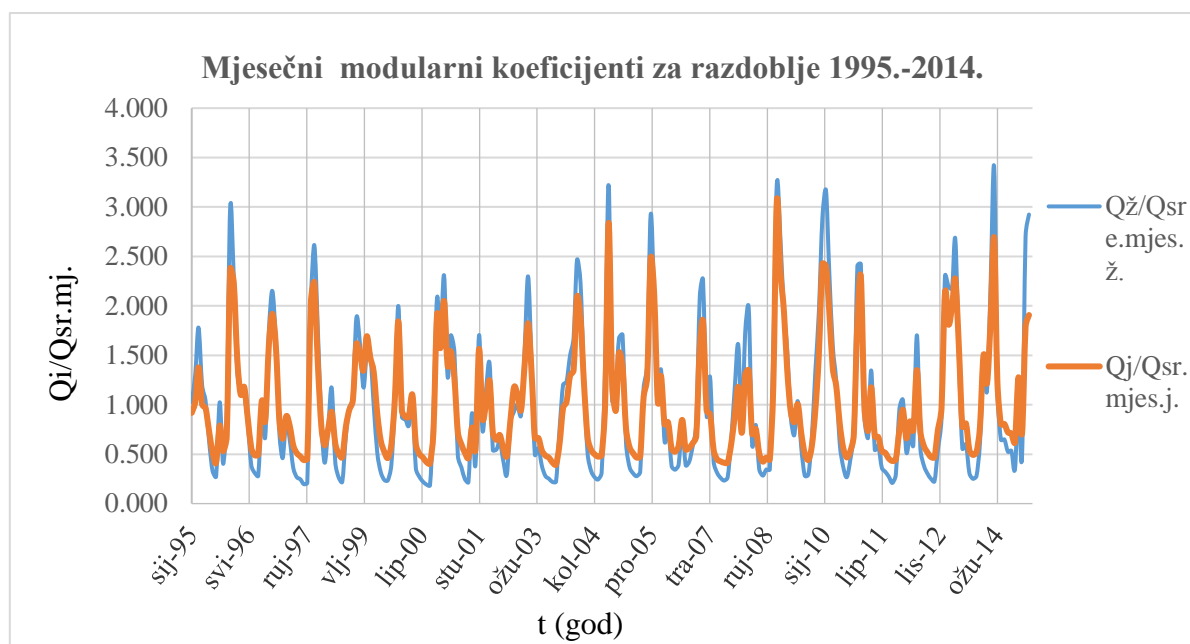
Upotrebljava se pri usporedbi hidroloških pojava i režima svih tekućica bez obzira na njihovu veličinu.



Slika 8.1. Godišnji modularni koeficijenti Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.



Slika 8.2. Mjesečni modularni koeficijenti Jadra i Žrnovnice



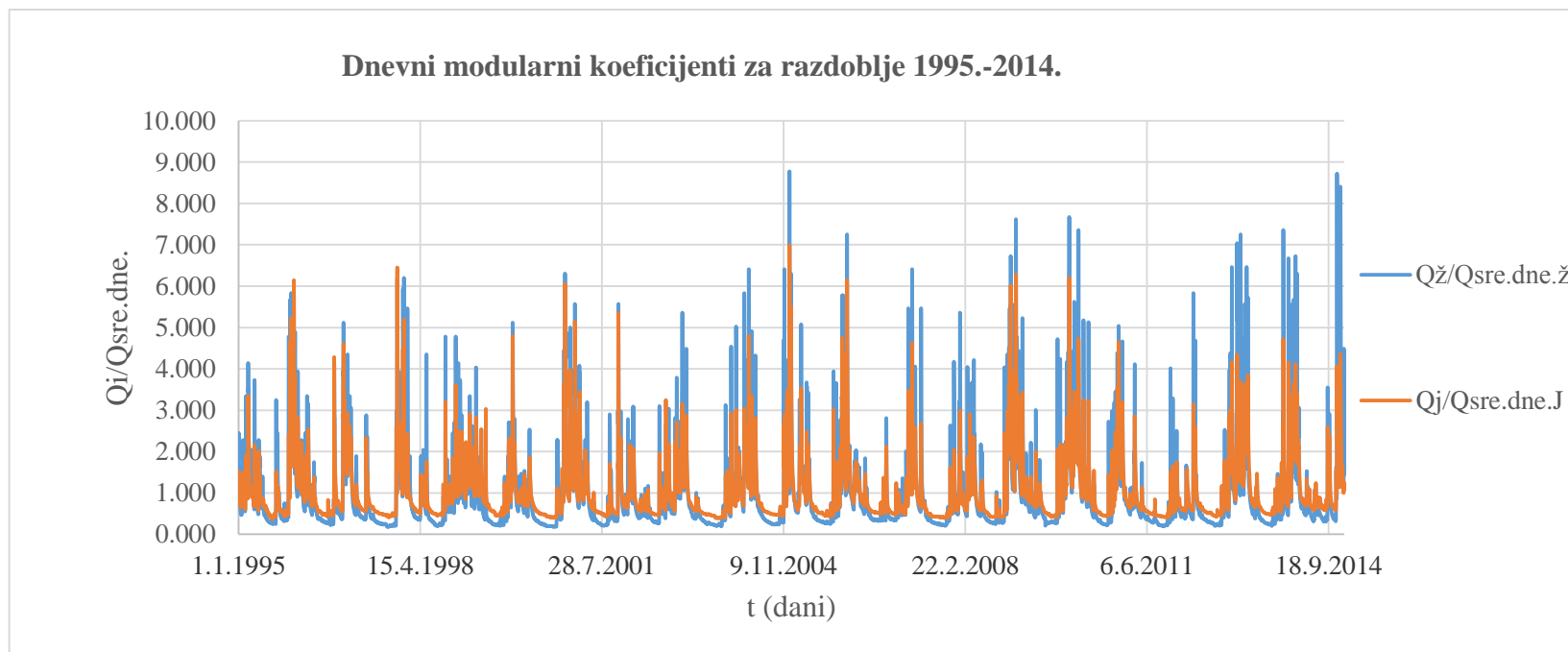
Slika 8.3. Modularni koeficijenti Jadra i Žrnovnice za svaki mjesec u godini za razdoblje 1995.-2014.

Iz slike 8.2. može se zaključiti da su tijekom ljetnih mjeseci modularni koeficijenti Jadra veći od modularnih koeficijenata Žrnovnice, tj. kod Jadra su manja odstupanja mjesečnih protoka od srednje mjesečnih protoka nego kod Žrnovnice. Za vrijeme zimskih mjeseci situacija je obratna te su modularni koeficijenti Jadra manji od modularnih koeficijenata Žrnovnice.

Kao što se vidi iz slike 8.3. modularni koeficijenti Žrnovnice su veći od modularnih koeficijenata. Najmanji mjesečni modularni koeficijent za Žrnovnicu zabilježen je u rujnu 2000. i iznosi 0,185. Najmanji mjesečni modularni koeficijent za Jadro zabilježen je u rujnu 2003. i iznosi 0,396. Najveći mjesečni modularni koeficijent za Žrnovnicu zabilježen je u veljači 2014. i iznosi 3,404. Najmanji mjesečni modularni koeficijent za Jadro zabilježen je u prosincu 2008. i iznosi 3,060.

U nastavku će biti prikazani dnevni modularni koeficijenti za vremensko razdoblje 1995.-2014. Na slici 8.4. vidljivo je da postoje velika odstupanja srednjih dnevnih protoka od njihova prosjeka tijekom vremenskog razdoblja 1995.-2014. Najveći skokovi zabilježeni su kod dana koji imaju najveće protoke, tj. kod rastućeg dijela hidrograma.

Najveći modularni koeficijent zabilježen je 18.12.2004. i iznosio je za Žrnovnicu 8,775, dok je za Jadro iznosio 6,991.

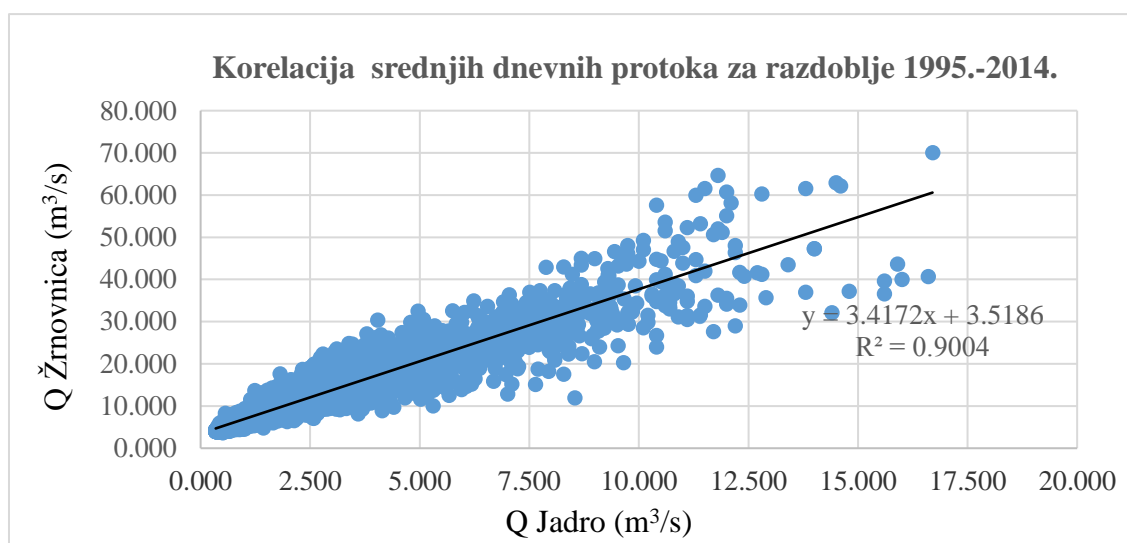


Slika 8.4. Dnevni modularni koeficijent Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.

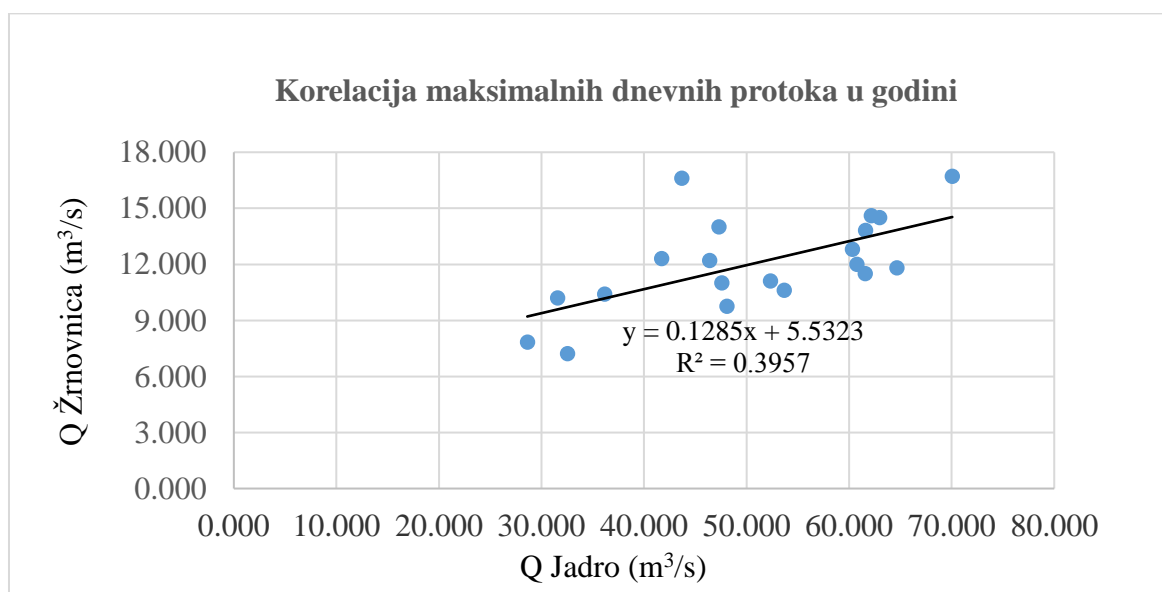
## 9. KORELACIJSKA ANALIZA

### 9.1. Linearna korelacija

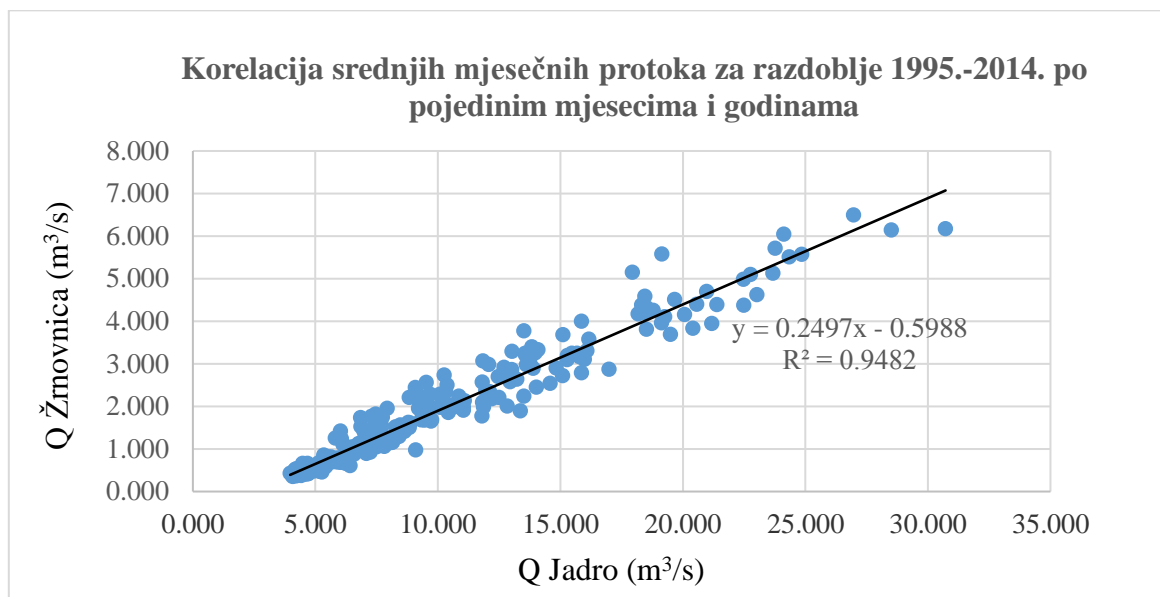
U nastavku će biti prikazana korelacija srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih protoka na izvorima Jadra i Žrnovnice. Na idućim dijagramima su ucrtani pravci linearne regresije uz pripadadne vrijednosti kvadrata koeficijenta linearne korelacije  $r$  i funkcije toga pravca.



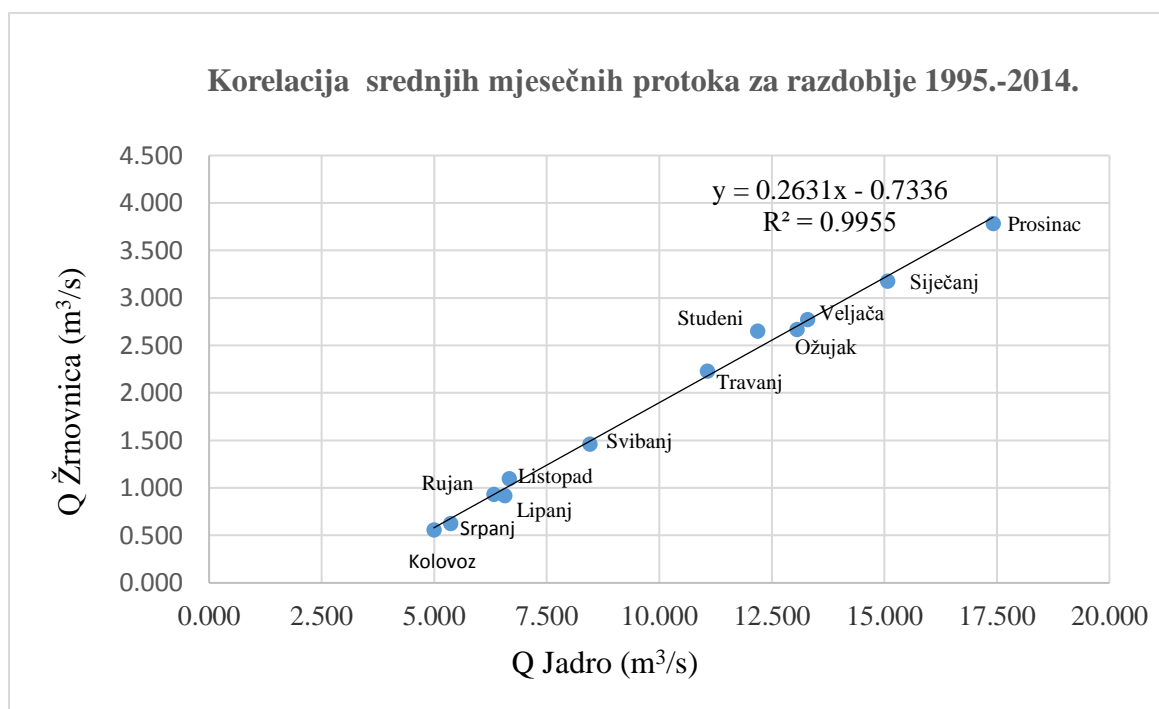
Slika 9.1.1. Korelacija srednjih dnevnih protoka u godini između Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.



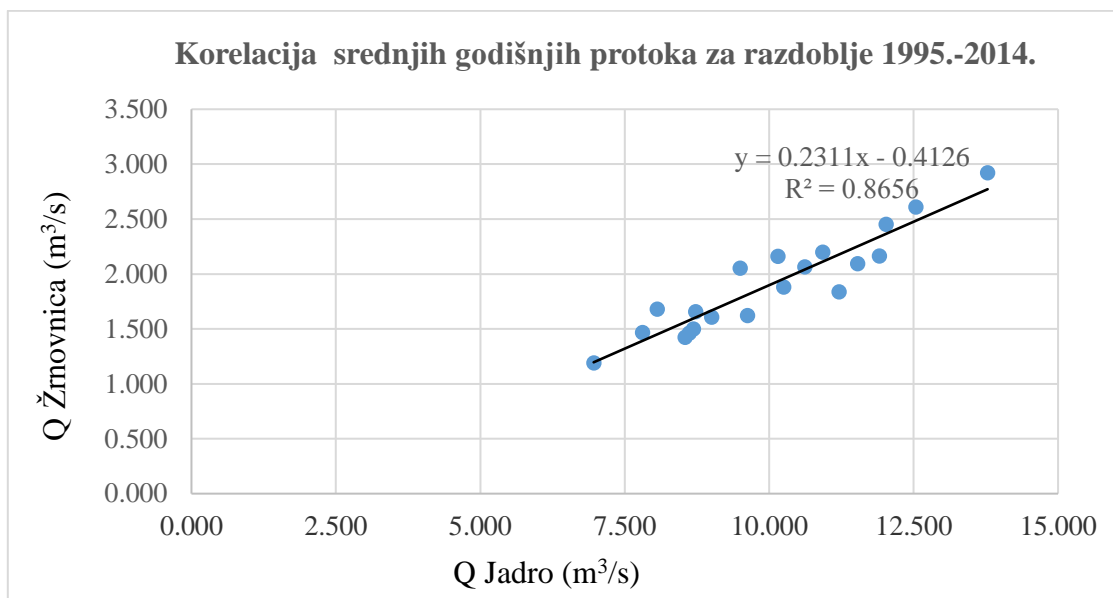
Slika 9.1.2. Korelacija maksimalnih dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.



Slika 9.1.3. Korelacija srednjih mjesečnih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. po pojedinim mjesecima i godinama



Slika 9.1.4. Korelacija srednjih mjesečnih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. po pojedinim mjesecima



Slika 9.1.5. Korelacija srednjih godišnjih protoka Jadrta i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.

Tablica 9.1.1. Prikaz koeficijenta korelacije izvora Jadrta i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.

Korelacija protoka	Vrijednosti koeficijenta korelacije r
Srednji dnevni	0,9489
Maksimalnih dnevni	0,6290
Srednji mjesečni po pojedinim mjesecima i godinama	0,9738
Srednji mjesečni	0,9977
Srednji godišnji	0,9304

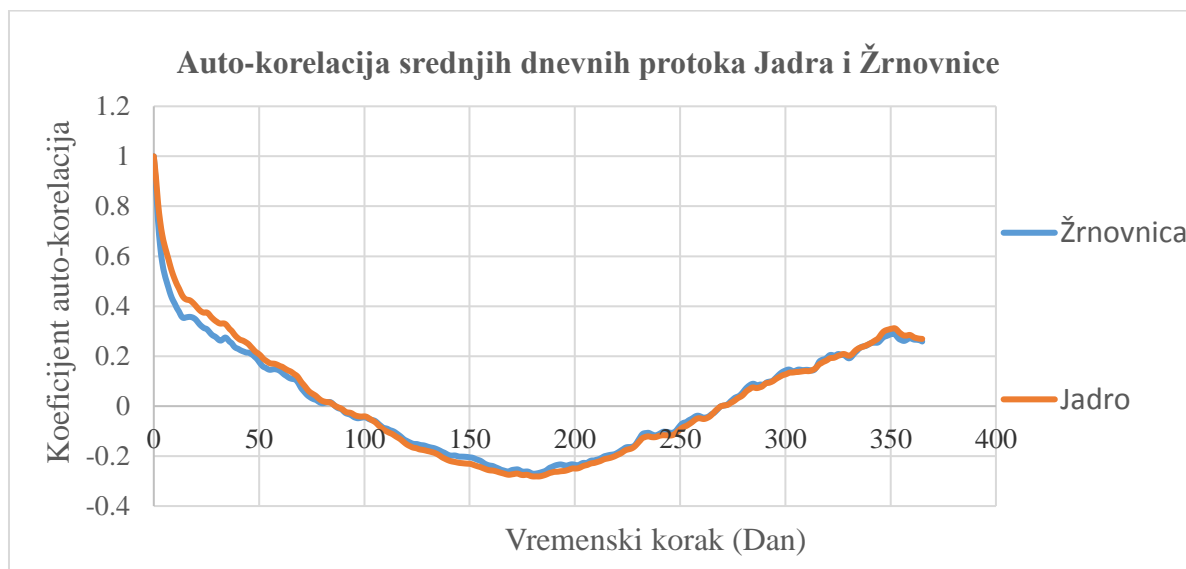
Kao što je vidljivo iz prethodnih slika linearnom porastu protoka Jadrta odgovara linearni porast protoka Žrnovnice i kažemo da je korelacija pozitivna te za r vrijedi  $0 < r < +1$ .

Koeficijent korelacije je najveći kod srednjih mjesečnih protoka što je grafički vidljivo na slici 9.1.4. gdje je odstupanje točaka jako maleno od promatranog regresijskog pravca. Najmanji koeficijent korelacije zabilježen je kod maksimalnih dnevnih protoka, pri čemu je najveće odstupanje od regresijskog pravca zabilježeno 2014. s koordinatama protoka (43,676; 16,600).



## 9.2. Auto-korelacijska funkcija

U nastavku će biti prikazana auto-korelacijska funkcija za 365 vremenskih koraka (dana) na temelju ulaznih podataka srednjih dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice za vremenski period od 1995.-2014.



Slika 9.2.1. Auto-korelacijska funkcija srednje dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice za 365 vremenskih koraka

Kao što je vidljivo na slici u prvih 20-ak vremenskih koraka dolazi do opadanja zavisnosti između članova vremenske serije. Koeficijenti auto-korelacije Jadra su prvih 40-ak vremenskih koraka malo veći od Žrnovnice, te se nakon toga prate i približno su jednaki. Kao što je vidljivo na slici 9.2.1. od 87-270 vremenskog koraka se pojavljuju negativne vrijednosti koeficijenta autokorelacije, što je posljedica sezonskih klimatskih utjecaja. S obzirom na oblik auto-korelacijske funkcije, uočljivo je da uvjet stacionarnosti nije zadovoljen što je uobičajeno za vremenske serije otjecanja krških izvora.

## 10. STATISTIČKA ANALIZA IZVORA JADRA I ŽRNOVNICE

U ovom poglavlju će se provoditi analiza krivulje raspodjele srednjih godišnjih i maksimalnih godišnjih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.

Razmatrat će se analiza krivulja raspodjele:

1. Empirijske
2. Teorijske: Normalna, log-normalna, gumbelova

Svaka teorijska raspodjela se konstruira na pripadnom vjerojatnosnom papiru i zatim se uspoređuje sa empirijskim vrijednostima na istom tom papiru.

### 10.1. Krivulje raspodjele srednjih godišnjih protoka

U tablicama 10.1.1. i 10.1.2. dane su vrijednosti vjerojatnosti navedenih raspodjela za svaku pojedinu godinu promatranog vremenskog razdoblja.

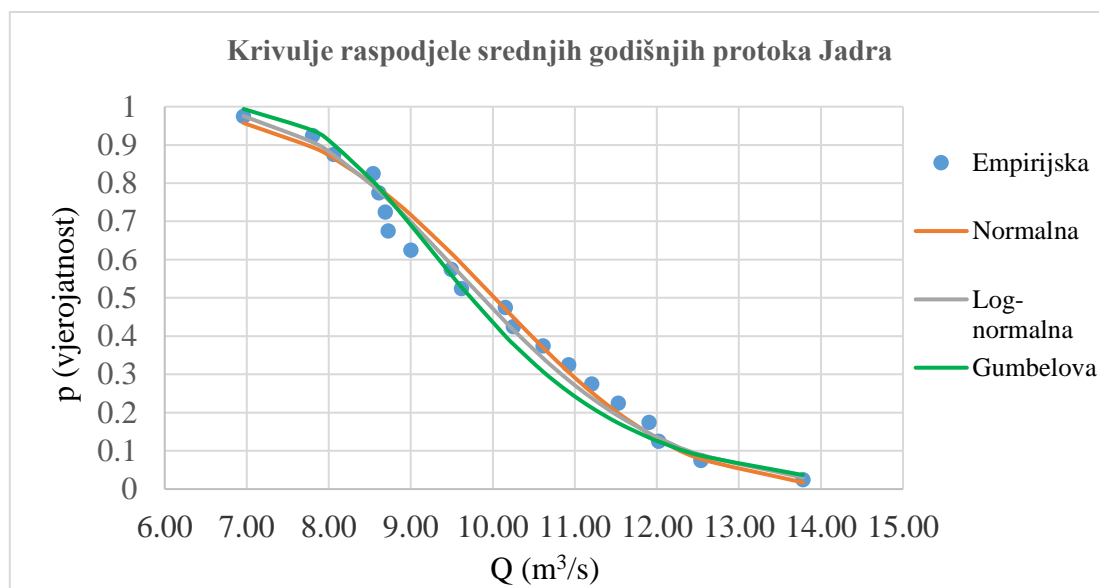
Tablica 10.1.1. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro

Rang	Godina	Qsre.god.	Pe	Pn	ln(Qsre.god.)	Pln	zgumbel	Pg
1	2010	13.781	0.025	0.017	2.623	0.030	3.286	0.037
2	2014	12.537	0.075	0.079	2.529	0.089	2.390	0.088
3	2004	12.023	0.125	0.130	2.487	0.134	2.019	0.124
4	2013	11.905	0.175	0.145	2.477	0.146	1.934	0.135
5	1996	11.530	0.225	0.198	2.445	0.191	1.664	0.173
6	1999	11.206	0.275	0.253	2.416	0.238	1.430	0.213
7	2009	10.924	0.325	0.306	2.391	0.285	1.227	0.254
8	2005	10.613	0.375	0.370	2.362	0.342	1.003	0.307
9	2001	10.249	0.425	0.449	2.327	0.417	0.741	0.379
10	2008	10.152	0.475	0.471	2.318	0.438	0.671	0.400
11	1997	9.621	0.525	0.589	2.264	0.558	0.288	0.528
12	1995	9.493	0.575	0.617	2.251	0.587	0.196	0.560
13	2002	9.003	0.625	0.717	2.198	0.698	-0.157	0.690
14	1998	8.724	0.675	0.767	2.166	0.757	-0.358	0.761
15	2000	8.688	0.725	0.773	2.162	0.764	-0.384	0.770
16	2006	8.613	0.775	0.786	2.153	0.779	-0.438	0.788
17	2012	8.542	0.825	0.797	2.145	0.792	-0.489	0.804
18	2007	8.061	0.875	0.865	2.087	0.873	-0.836	0.900
19	2003	7.806	0.925	0.893	2.055	0.907	-1.020	0.937
20	2011	6.962	0.975	0.957	1.940	0.975	-1.628	0.994

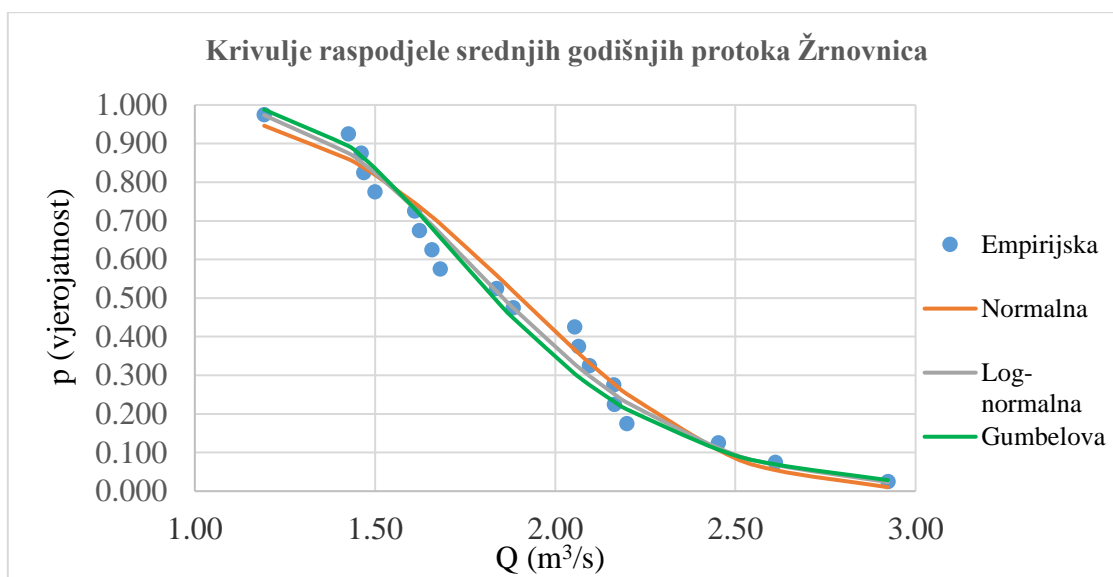
Tablica 10.1.2. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu

Rang	Godina	Qsre.god.	Pe	Pn	ln(Qsre.god.)	Pln	zgumbel	Pg
1	2010	2.923	0.025	0.010	1.073	0.024	3.537	0.029
2	2014	2.611	0.075	0.055	0.960	0.068	2.631	0.070
3	2004	2.452	0.125	0.107	0.897	0.112	2.170	0.108
4	2009	2.199	0.175	0.252	0.788	0.230	1.434	0.212
5	2013	2.164	0.225	0.278	0.772	0.252	1.333	0.232
6	2008	2.162	0.275	0.279	0.771	0.253	1.327	0.233
7	1996	2.095	0.325	0.332	0.739	0.299	1.133	0.275
8	2005	2.064	0.375	0.357	0.725	0.321	1.045	0.296
9	1995	2.054	0.425	0.367	0.720	0.329	1.014	0.304
10	2001	1.883	0.475	0.518	0.633	0.475	0.520	0.448
11	1999	1.837	0.525	0.559	0.608	0.518	0.386	0.493
12	2007	1.681	0.575	0.693	0.519	0.668	-0.069	0.657
13	1998	1.658	0.625	0.710	0.506	0.689	-0.134	0.681
14	1997	1.623	0.675	0.737	0.484	0.721	-0.237	0.718
15	2002	1.609	0.725	0.747	0.476	0.733	-0.275	0.732
16	2000	1.499	0.775	0.819	0.405	0.824	-0.594	0.837
17	2003	1.468	0.825	0.837	0.384	0.847	-0.684	0.862
18	2006	1.461	0.875	0.841	0.379	0.852	-0.705	0.868
19	2012	1.426	0.925	0.860	0.355	0.875	-0.808	0.894
20	2011	1.192	0.975	0.946	0.176	0.973	-1.485	0.988

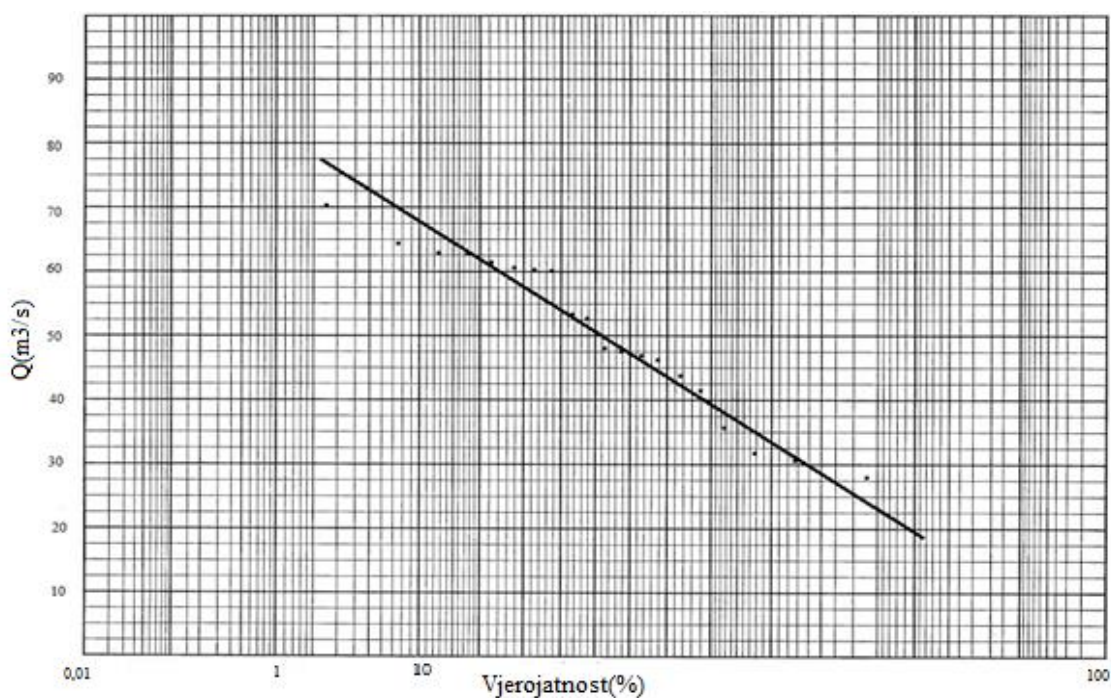
U nastavku su prikazane krivulje raspodjele (empirijska i teoretske). Empirijska raspodjela je prikazana točkasto, dok su teoretske prikazane u obliku krivulja.



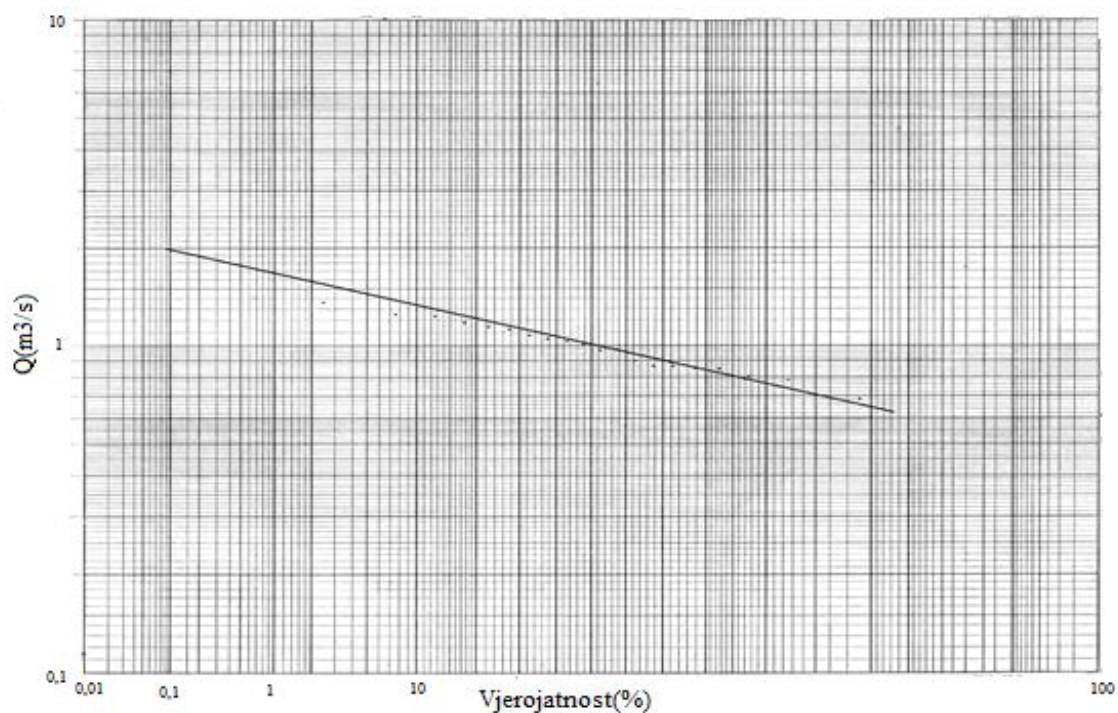
Slika 10.1.1. Krivulje raspodjele srednjih godišnjih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014.



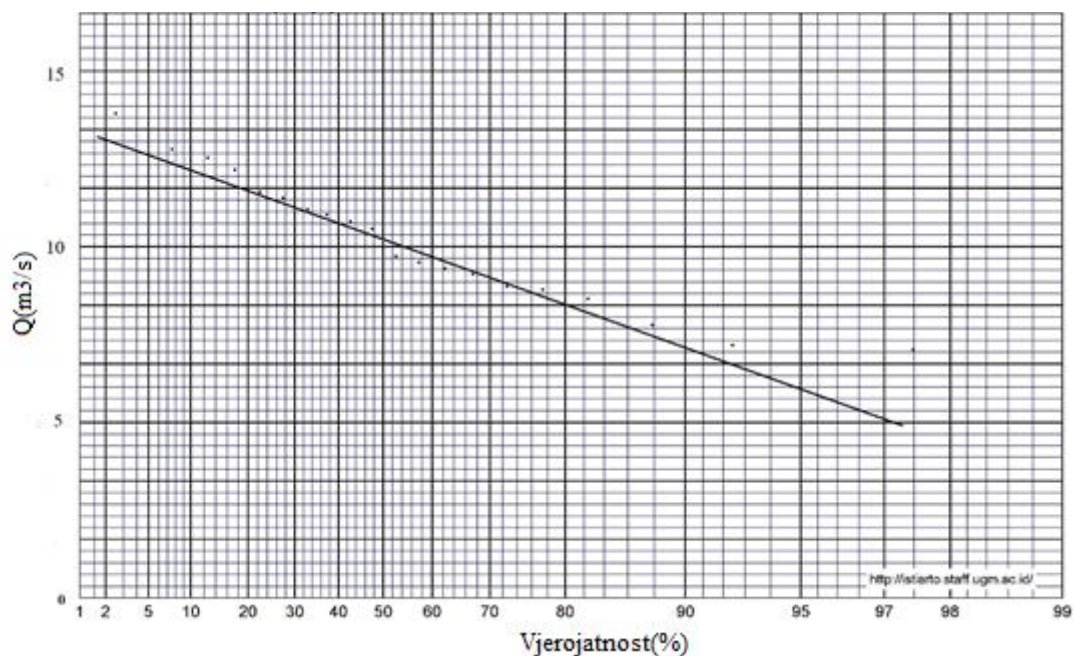
Slika 10.1.2. Krivulje raspodjele srednjih godišnjih protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.



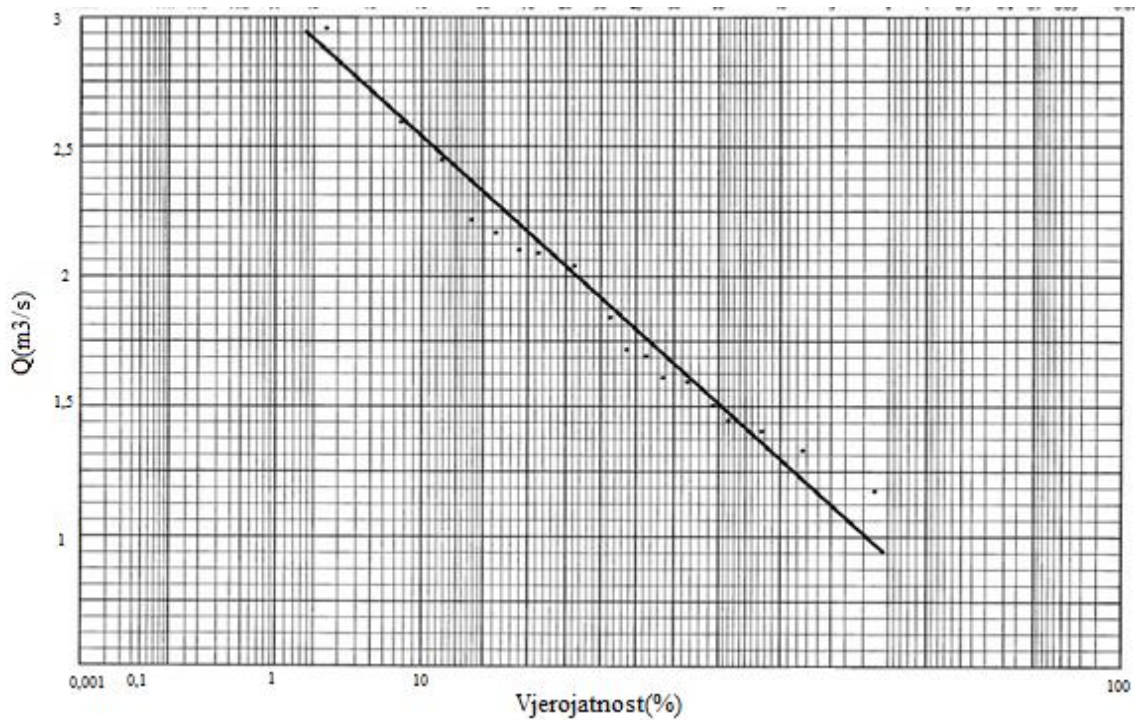
Slika 10.1.3. Vjerojatnosni papir za normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadr u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



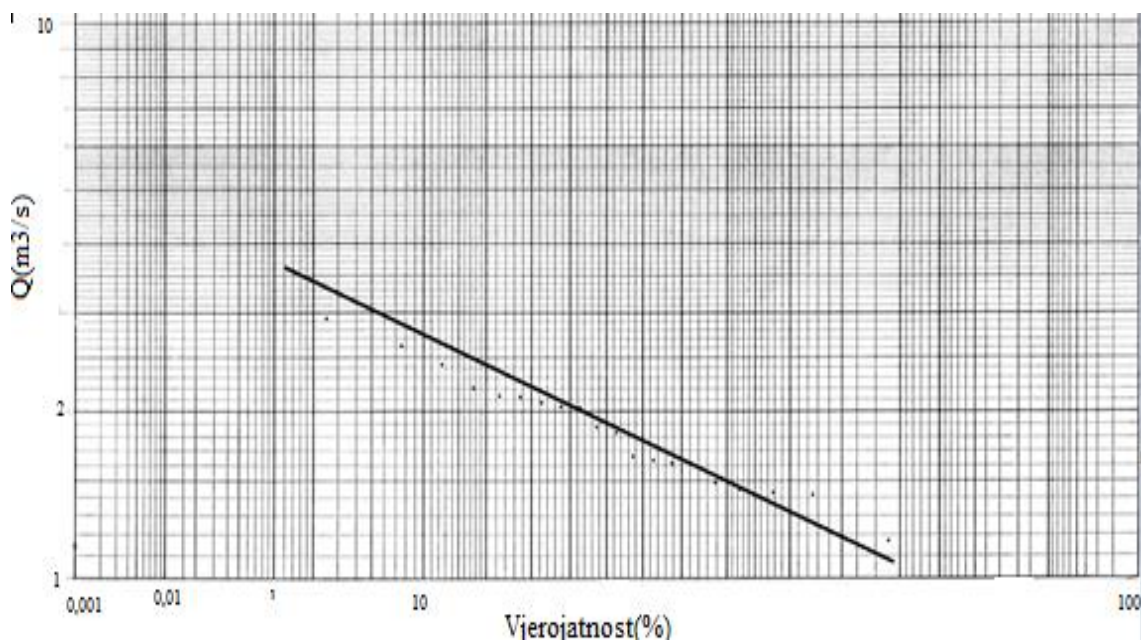
Slika 10.1.4. Vjerojatnosti papir za log-normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



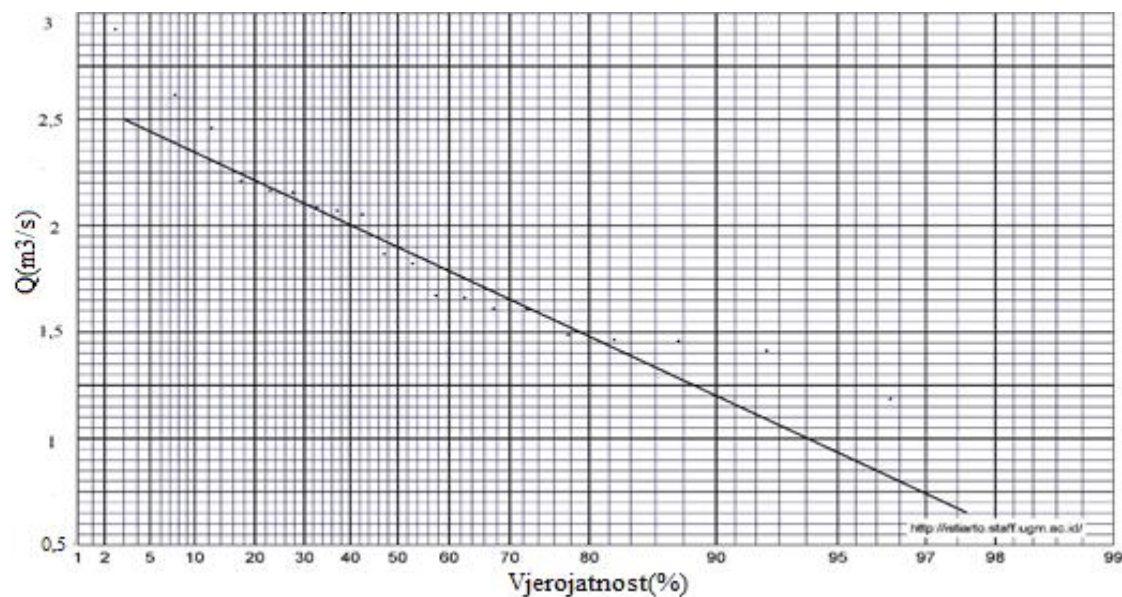
Slika 10.1.5. Vjerojatnosti papir za gumbelovu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



Slika 10.1.6. Vjerojatnosni papir za normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



Slika 10.1.7. Vjerojatnosni papir za log-normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



Slika 10.1.8. Vjerojatnosni papir za gumbelovu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti

Tablica 10.1.3. Vrijednosti srednjih godišnjih protoka Jadra za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele

PP	F(z)	Qnorm(m³/s)	Qlog-norm(m³/s)	Qgumb(m³/s)
20	0.95	12.948	13.225	13.343
50	0.98	13.676	14.222	14.636
100	0.99	14.161	14.928	15.605

Tablica 10.1.4. Vrijednosti srednjih godišnjih protoka Žrnovnice za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele

PP	F(z)	Qnorm(m³/s)	Qlog-norm(m³/s)	Qgumb(m³/s)
20	0.95	2.630	2.705	2.728
50	0.98	2.811	2.970	3.049
100	0.99	2.931	3.162	3.290

Povratni period (PP) za neku hidrološku veličinu (u ovom slučaju protok) predstavlja vremenski period u kojem se taj iznos ili veći od njega pojavljuje jedan put. Obrnuto je proporcionalan vjerojatnosti pojave ekstremnog događaja.

Iz tablica 10.1.3. i 10.1.4. može se uočiti da su za gumbelovu raspodjelu najveće vrijednosti srednjih godišnjih protoka, dok su za normalnu raspodjelu najmanje. Najkritičnija vrijednost srednjeg godišnjeg protoka Jadra i Žrnovnice zabilježena je za povratni period od 100 god. primjenjujući gumbelovu raspodjelu i iznosi 13, 343 m³/s za Jadro, a za Žrnovnicu 3,290 m³/s.

## 10.2. Krivulje raspodjele maksimalnih godišnjih protoka

U tablicama 10.2.1. i 10.2.2. dane su vrijednosti vjerojatnosti navedenih raspodjela za svaku pojedinu godinu promatranog vremenskog razdoblja.

Tablica 10.2.1. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele maksimalnih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro

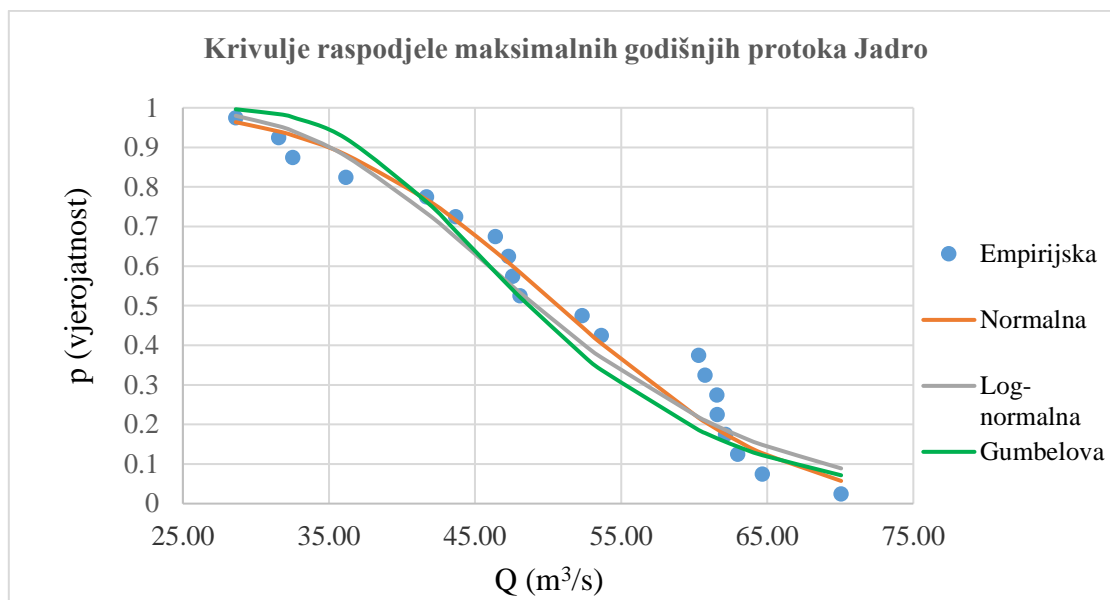
Rang	Godina	Qmax.god.	Pe	Pn	ln(Qsre.god.)	Pln	zgumbel	Pg
1	2004	70.057	0.025	0.057	4.249	0.089	2.600	0.072
2	1997	64.660	0.075	0.127	4.169	0.148	2.036	0.122
3	2009	62.975	0.125	0.158	4.143	0.173	1.861	0.144
4	2010	62.151	0.175	0.175	4.130	0.186	1.774	0.156
5	2006	61.590	0.225	0.187	4.121	0.195	1.716	0.165
6	1996	61.560	0.275	0.188	4.120	0.196	1.713	0.165
7	2000	60.740	0.325	0.206	4.107	0.210	1.627	0.178
8	2008	60.310	0.375	0.216	4.100	0.218	1.582	0.186
9	2001	53.648	0.425	0.405	3.982	0.369	0.887	0.338
10	1995	52.330	0.475	0.447	3.958	0.405	0.749	0.377
11	1999	48.080	0.525	0.584	3.873	0.533	0.305	0.521
12	2005	47.587	0.575	0.599	3.863	0.548	0.254	0.540
13	2013	47.292	0.625	0.609	3.856	0.558	0.223	0.551
14	2007	46.397	0.675	0.636	3.837	0.586	0.130	0.585
15	2014	43.676	0.725	0.716	3.777	0.673	-0.154	0.689
16	2012	41.690	0.775	0.768	3.730	0.734	-0.362	0.762
17	1998	36.160	0.825	0.881	3.588	0.878	-0.939	0.923
18	2002	32.529	0.875	0.930	3.482	0.941	-1.318	0.976
19	2003	31.567	0.925	0.940	3.452	0.953	-1.419	0.984
20	2011	28.616	0.975	0.964	3.354	0.980	-1.727	0.996

Tablica 10.2.2. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele maksimalnih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu

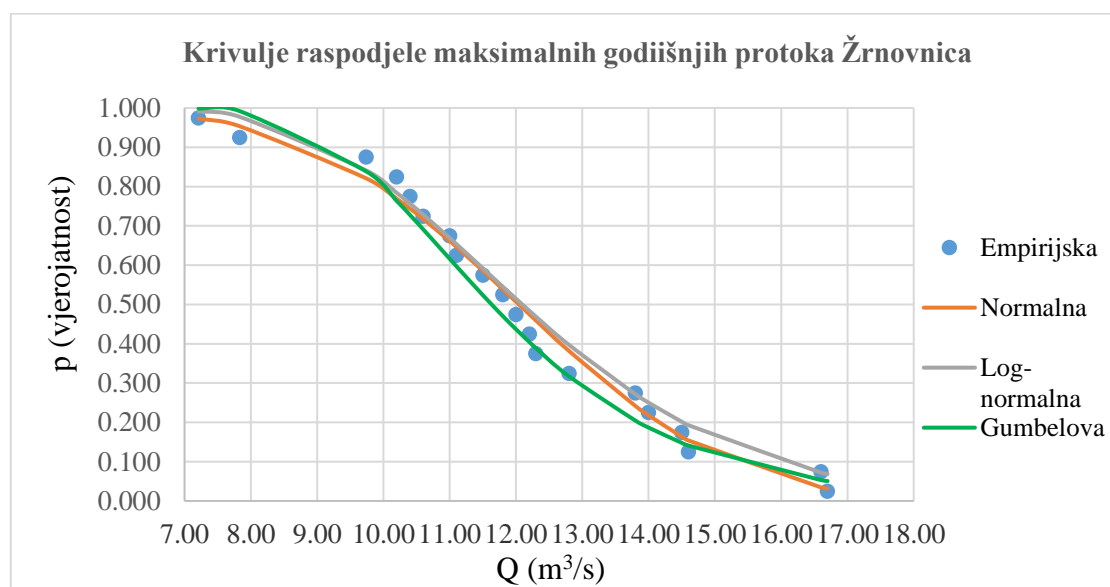
Rang	Godina	Qsre.god.	Pe	Pn	ln(Qsre.god.)	Pln	zgumbel	Pg
1	2014	16.700	0.025	0.032	2.815	0.068	2.957	0.051
2	2008	16.600	0.075	0.035	2.809	0.072	2.906	0.053
3	2010	14.600	0.125	0.154	2.681	0.193	1.883	0.141
4	1996	14.500	0.175	0.164	2.674	0.202	1.832	0.148
5	2012	14.000	0.225	0.218	2.639	0.250	1.577	0.187
6	2013	13.800	0.275	0.242	2.625	0.272	1.474	0.205
7	2004	12.800	0.325	0.382	2.549	0.397	0.963	0.317
8	2003	12.300	0.375	0.459	2.510	0.469	0.708	0.389
9	1999	12.200	0.425	0.475	2.501	0.484	0.657	0.405
10	2001	12.000	0.475	0.507	2.485	0.515	0.554	0.437
11	2005	11.800	0.525	0.539	2.468	0.545	0.452	0.471
12	2009	11.500	0.575	0.586	2.442	0.592	0.299	0.524
13	2006	11.100	0.625	0.647	2.407	0.654	0.094	0.597
14	2002	11.000	0.675	0.661	2.398	0.669	0.043	0.616
15	1997	10.600	0.725	0.718	2.361	0.729	-0.161	0.691
16	2007	10.400	0.775	0.744	2.342	0.757	-0.263	0.728
17	1998	10.200	0.825	0.769	2.322	0.784	-0.366	0.763
18	1995	9.740	0.875	0.821	2.276	0.841	-0.601	0.839
19	2000	7.830	0.925	0.954	2.058	0.978	-1.577	0.992
20	2011	7.210	0.975	0.973	1.975	0.991	-1.894	0.999



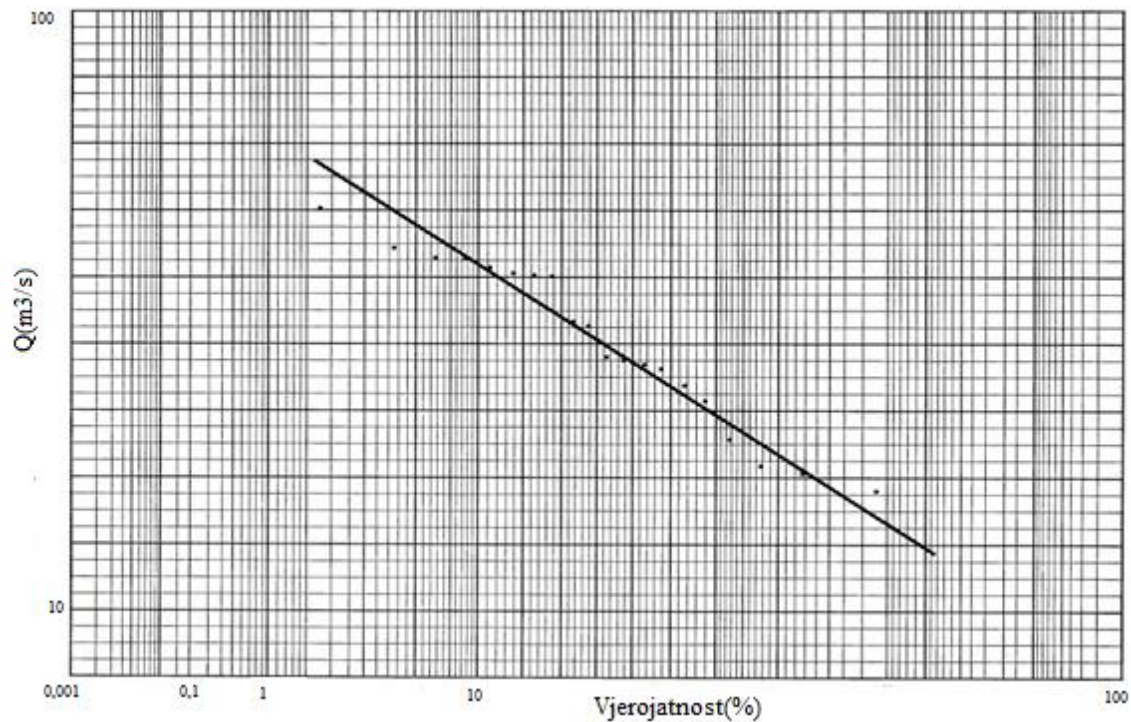
Analogno kao i u poglavlju 10.1. u nastavku su prikazane krivulje raspodjele (empirijska i teoretske).



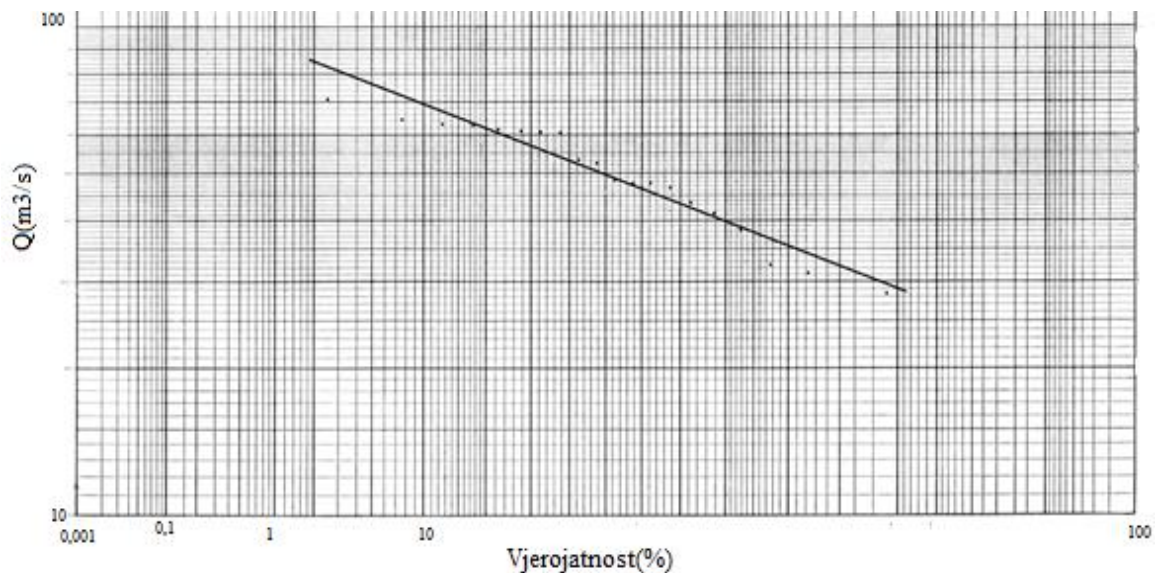
Slika 10.2.1. Krivulje raspodjele maksimalnih godišnjih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014.



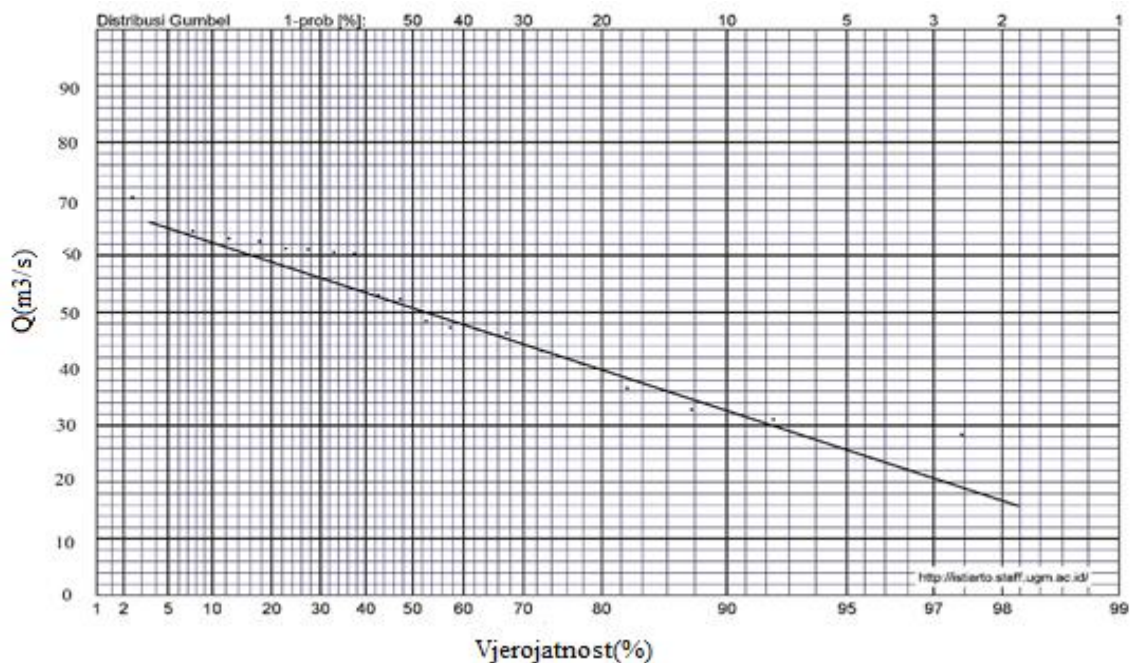
Slika 10.2.2. Krivulje raspodjele maksimalnih godišnjih protoka Žrnovnice za razdoblje



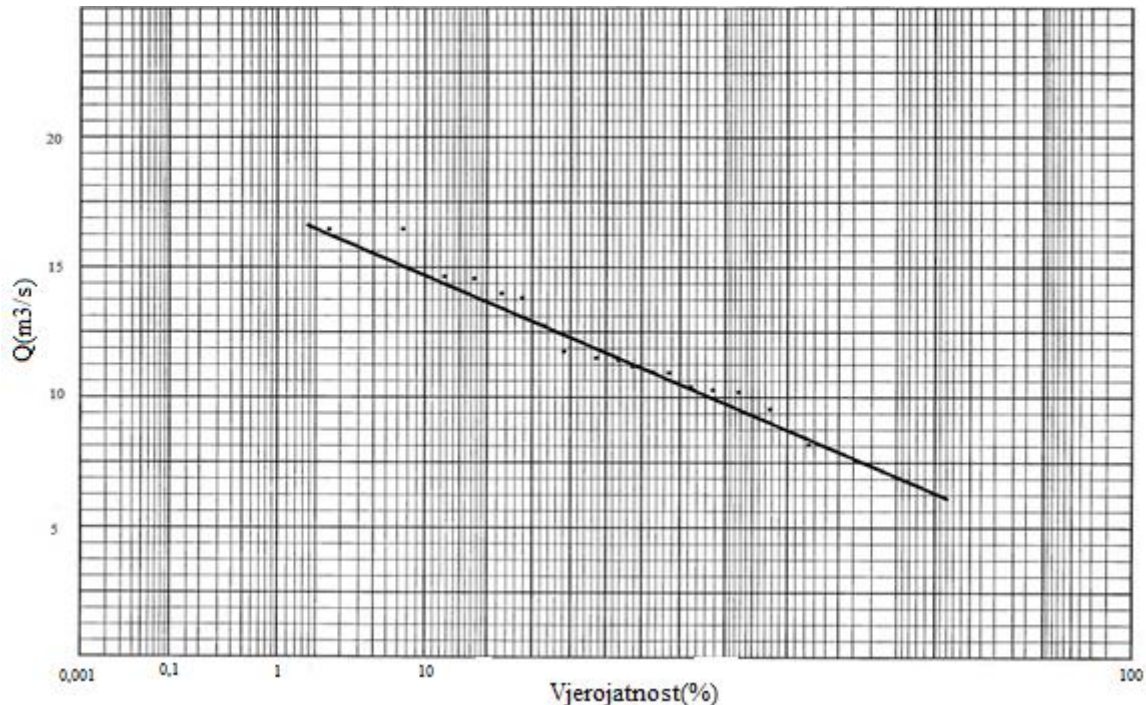
Slika 10.2.3. Vjerojatnosni papir za normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



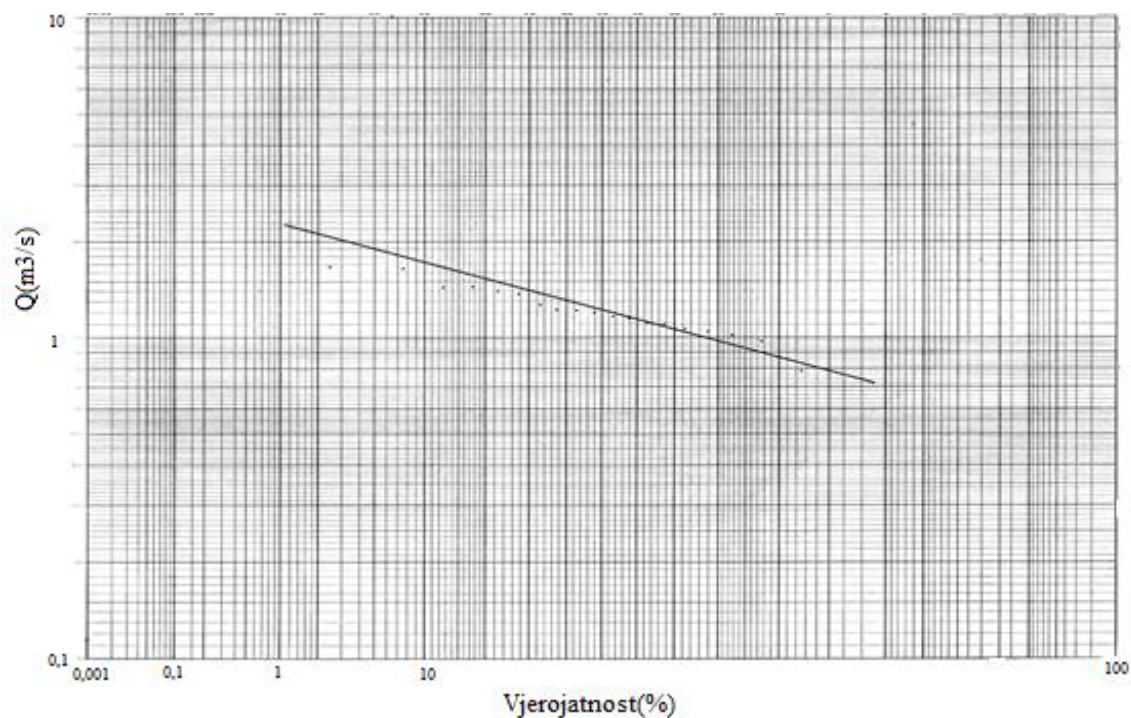
Slika 10.2.4. Vjerojatnosni papir za log-normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



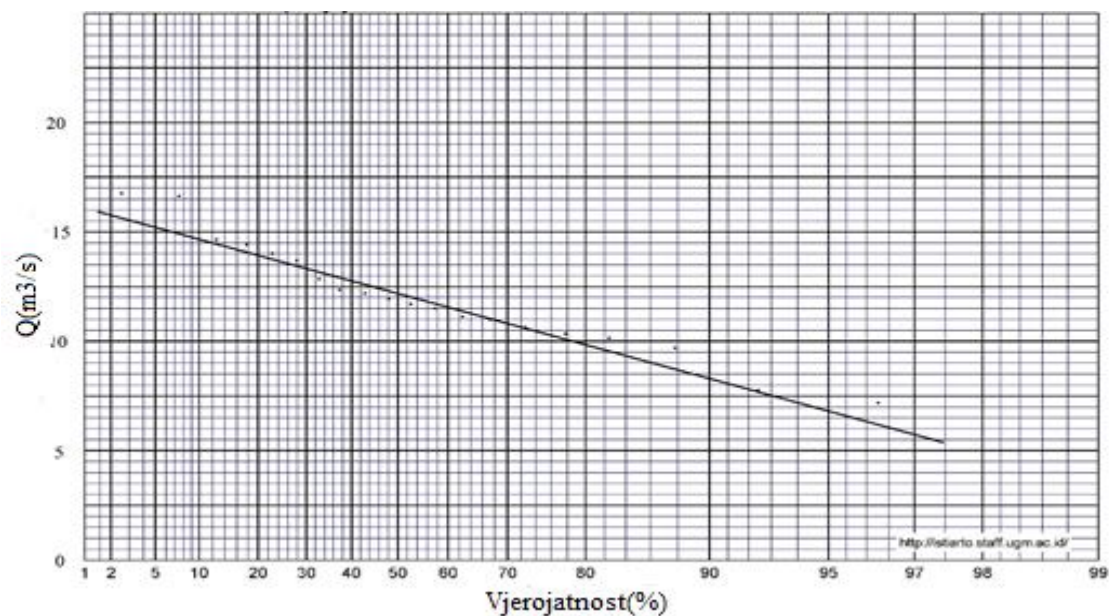
Slika 10.2.5. Vjerojatnosi papir za gumbelovu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadrta u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



Slika 10.2.6. Vjerojatnosi papir za normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



Slika 10.2.7. Vjerojatnosni papir za log-normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti



Slika 10.2.8. Vjerojatnosni papir za gumbelovu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti

Tablica 10.2.3. Vrijednosti maksimalnih protoka Jadra za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele

PP	F(z)	Qnorm(m <sup>3</sup> /s)	Qlog-norm(m <sup>3</sup> /s)	Qgumb(m <sup>3</sup> /s)
20	0.95	70.879	75.768	73.604
50	0.98	75.900	84.382	82.528
100	0.99	79.248	90.663	89.216

Tablica 10.2.4. Vrijednosti maksimalnih dnevnih protoka Žrnovnice za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele

PP	F(z)	Qnorm(m <sup>3</sup> /s)	Qlog-norm(m <sup>3</sup> /s)	Qgumb(m <sup>3</sup> /s)
20	0.95	16.170	17.281	16.726
50	0.98	17.195	18.884	18.549
100	0.99	17.879	20.035	19.915

Iz tablica 10.2.3. i 10.2.4. može se uočiti da su za log-normalnu raspodjelu najveće vrijednosti maksimalnih dnevnih protoka, dok su za normalnu raspodjelu najmanje. Najkritičnija vrijednost srednjeg godišnjeg protoka Jadra i Žrnovnice zabilježena je za povratni period od 100 god. primjenjujući log-normalnu raspodjelu i iznosi 89,216 m<sup>3</sup>/s za Jadro, a za Žrnovnicu 19,915 m<sup>3</sup>/s.

## 11. ZAKLJUČAK

Hidrološkom analizom godišnjih, mjesečnih i dnevnih količina istjecanja uočene su sličnosti glede oblika ponašanja hidrograma. Izvor rijeke Jadro je bogatiji vodom od izvora rijeke Žrnovnice što se jasno uočava iz veličine protoka.

Maksimalni godišnji protok Jadra zabilježen je 2010. i iznosi 13,781 m<sup>3</sup>/s, a za Žrnovnicu je zabilježen 2010. i iznosi 2,923 m<sup>3</sup>/s. Također se može uočiti mali porast linearnih trendova Jadra i Žrnovnice s nešto većim koeficijentom korelacije Žrnovnice, što je dobar pokazatelj i ukazuje na povećanje količine istjecanja na izvorima.

Analizom mjesečnih količina istjecanja dobiven je maksimalni protok Jadra koji je zabilježen 2008. u prosincu i iznosio je 30,719 m<sup>3</sup>/s, a Žrnovnice od 6,493 m<sup>3</sup>/s koji je zabilježen u 2014. i veljači. Najniži srednji mjesečni protoci Jadra i Žrnovnice se javljaju tijekom ljetnog perioda, dok se maksimalni protoci javljaju u zimskim mjesecima, što je tipično za krške izvore.

Analizom dnevnih količina istjecanja za Jadro maksimalni protok Jadra zabilježen je 18. prosinca 2004. i iznosi 70,06 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni zabilježen 7. kolovoza 1995. i iznosi 3,72 m<sup>3</sup>/s. Maksimalni protok Žrnovnice zabilježen je 18. prosinca 1997. i iznosi 16,70 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni zabilježen nekoliko puta u rujnu 2004. i iznosi 0,344 m<sup>3</sup>/s.

Pad krivulja trajanja za promatrano razdoblje je pri kraju krivulje blag što ukazuje na to da izvori sadrže zalihe podzemne vode što je od značaja u ljetnom periodu godine, kada su potrebe za vodom povećane.

Hidrogeološka svojstva vodonosnika i hidraulički režim podzemnih tokova krških izvora Jadra i Žrnovnice glavni su čimbenici kod analize recesijskih krivulja. Uočava se sličnost tih dvaju izvora glede složenog sistema pražnjenja pri čemu je vidljivo da je nakon vršnih protoka veći intezitet pražnjenja, a da nakon toga nastupa razdoblje blagog opadanja hidrograma. To ukazuje da je mreža krških vodonosnika Jadra i Žrnovnice vrlo heterogena, jer se u podzemlju istovremeno odvija proces turbulentog protjecanja vode kroz velike pukotine i sporog tečenja kroz sitne pukotine. Najduže recesijsko razdoblje za izvore Jadra i Žrnovnice zabilježeno je 1997. godine.

Iz omjera brze i spore komponente otjecanja vidljivo je da je za hidrološku godinu 1.10.2009.-30.9.2010. zabilježen omjer  $V_{dir}/V_{baz}$  iznosi 1,42 za Jadro, dok za Žrnovnicu iznosi 3,03. Kod izvora Jadra za većinu hidroloških godina dominantnija je spora komponenta otjecanja što ukazuje na dobra akumulacijska svojstva vodonosnika.

Korelacijskom analizom utvrđena je jako dobra povezanost između protoka Jadra i Žrnovnice, pri čemu i to ukazuje na vrlo slične hidrološke režime. Vrijednost koeficijenta korelacije je najveća za srednje mjesečne protoke po pojedinim mjesecima i iznosi 0,9977.

Funkcijom auto-korelacije srednjih dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice u prvih 20-ak vremenskih koraka prikazano je naglo opadanje zavisnosti između članova vremenske serije.

Analizom modularnih koeficijenata može se zaključiti da su tijekom ljetnih mjeseci modularni koeficijenti Jadra veći od modularnih koeficijenata Žrnovnice, tj. kod Jadra su manja odstupanja mjesečnih protoka od srednje mjesečnih protoka nego kod Žrnovnice. Za vrijeme zimskih mjeseci situacija je obratna te su modularni koeficijenti Jadra manji od modularnih koeficijenata Žrnovnice.

**LITERATURA**

- [1] Bonacci, O., Lučić, I., Marjanac, T., Perica, D., Vujičić-Karlo, S., Krš bez granica, Zagreb, 2008.
- [2] Buzjak, N., Pleše, D., Krški reljef u Hrvatskoj, raspoloživo na: <http://speleo-klub-samobor.hr/edukacija/speleologija/>, 10.8.2016.
- [3] Kapelj, S., Kapelj, J., Švonja, M., Hidrogeološka obilježja sliva Jadra i Žrnovnice, Tusculum 5, 2012.
- [4] Hrelja, H., Inženjerska hidrologija, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2007.,
- [5]: Denić-Jukić, V., Predavanja iz hidrologije, raspoloživo na: [http://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Hidrologija/DSG%20Inzenjerska%20hidrologija/IH-hidrogram\\_secure.pdf](http://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Hidrologija/DSG%20Inzenjerska%20hidrologija/IH-hidrogram_secure.pdf), 13.8.2016.,
- [6] Građevinski fakultet Zagreb, raspoloživo na: [http://grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/hidrologija/PREDAVANJA/H111%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](http://grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/hidrologija/PREDAVANJA/H111%20[Compatibility%20Mode].pdf), 14.8.2016.
- [7] Žugaj, R., Andreić, Ž., Pavlić, K., Fuštar, L., Krivulja trajanja protoka, Građevinar, 63 (2011) 12, str. 1061-1068
- [8] Jukić, D., Disertacija, Uloga transfer funkcija pri izradi bilance i modeliranja, Sveučilište u Splitu. Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2005.
- [9] Bonacci, O., Hydrological Sciences -Journal- des Sciences Hydrologiques, 38,1,2/1993
- [10] Bonacci, O., Karst hydrology With Special Reference to the Dinaric Karst, Springer-Verlang, Berlin 1987.
- [11] Šakić-Trogrlić, R., Hidrologija krških izvora Jadra i Žrnovnice, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2012.



## PRILOZI

### Popis slika

Slika 1.2.1. Faze u razvoju krša .....	2
Slika 1.2.2. Krški reljef Hrvatske -.....	3
Slika 2.1.1. Shema hidrogeološke karte priljevnog područja Jadra i Žrnovnice.....	5
Slika 2.2.1. Izvor rijeke Jadro .....	6
Slika 2.3.1. Izvor rijeke Žrnovnice.....	7
Slika 3.1.1. Shema komponenti ukupnog otjecanja .....	8
Slika 3.1.2. a) Ulaz i izlaz hidrološkog sistema, b) Hidrogram otjecanja.....	9
Slika 3.2.2. Anvelopa krivulja recesije.....	12
Slika 3.3.1. Prikaz krivulje trajanja i krivulje učestalost.....	13
Slika 3.4.1. Geometrijski prikaz dvodimenzionalne slučajne varijable (X,Y).....	14
Slika 4.1. Hod srednjih godišnji protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014.....	21
Slika 4.2. Hod srednjih godišnji protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.....	21
Slika 5.1. Hod karakterističnih srednjih mjesečnih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro .....	25
Slika 5.2. Hod karakterističnih srednjih mjesečnih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu .....	25
Slika 5.3. Vrijednosti karakterističnih koeficijenata za razdoblje 1995.-2014. za Jadro .....	26
Slika 5.4. Vrijednosti karakterističnih koeficijenata za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu .	26
Slika 5.5. Hod srednjih mjesečnih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014. prikazano po pojedinim mjesecima i godinama.....	27
Slika 5.6. Hod srednjih mjesečnih protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. prikazano po pojedinim mjesecima i godinama.....	27
Slika 6.1.1. Hod karakterističkih dnevnih protoka Jadra za 365 dana u godini .....	29
Slika 6.1.2. Hod karakterističkih dnevnih protoka Žrnovnice za 365 dana u godini .....	30
Slika 6.1.3. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014.....	31
Slika 6.1.4. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.....	32
Slika 6.2.1. Krivulja trajanja Jadra za cjelokupno razdoblje 1995.-2014. ....	33
Slika 6.2.2. Krivulja trajanja Žrnovnice za cjelokupno razdoblje 1995.-2014. ....	34

Slika 6.2.3. Krivulja trajanje Jadra za svaku godinu za razdoblje 1995.-2014. s anvelopa minimalnih i maksimalnih vrijednosti.....	35
Slika 6.2.4. Krivulja trajanje Žrnovnice za svaku godinu za razdoblje 1995.-2014. s anvelopa minimalnih i maksimalnih vrijednosti.....	35
Slika 6.2.5. Histogram učestalosti Jadra za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.....	36
Slika 6.2.6. Histogram učestalosti Žrnovnice za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.....	36
Slika 7.1. Recesijska razdoblja prikazana na hidrogram srednjih dnevnih protoka Jadra .....	38
Slika 7.2. Recesijska razdoblja prikazana na hidrogram srednjih dnevnih protoka Žrnovnice	39
Slika 7.3. Recesijska razdoblja Jadra .....	40
Slika 7.4. Recesijska razdoblja Žrnovnice .....	40
Slika 7.6. Razdvajanje komponenti hidrograma Jadra za 1.10.2009.-30.9.2010.....	43
Slika 8.1. Godišnji modularni koeficijenti Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.....	44
Slika 8.2. Mjesečni modularni koeficijenti Jadra i Žrnovnice .....	44
Slika 8.3. Modularni koeficijenti Jadra i Žrnovnice za svaki mjesec u godini za radoblje 1995.-2014.....	45
Slika 9.1.1. Korelacija srednjih dnevnih protoka u godini između Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.....	47
Slika 9.1.2. Korelacija maksimalnih dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014.....	47
Slika 9.1.3. Korelacija srednjih mjesečnih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. po pojedinim mjesecima i godinama.....	48
Slika 9.1.4. Korelacija srednjih mjesečnih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. po pojedinim mjesecima.....	48
Slika 9.1.5. Korelacija srednjih godišnjih protoka Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. ....	49
Slika 9.2.1. Auto-korelacijska funkcija srednje dnevnih protoka Jadra i Žrnovnice za 365 vremenskih koraka .....	50
Slika 10.1.1. Krivulje raspodjele srednjih godišnjih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014..	52
Slika 10.1.2. Krivulje raspodjele srednjih godišnjih protoka Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. ....	53

Slika 10.1.4. Vjerojatnosi papir za log-normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	54
Slika 10.1.5. Vjerojatnosi papir za gumbelovu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	54
Slika 10.1.6. Vjerojatnosi papir za normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti .....	55
Slika 10.1.7. Vjerojatnosi papir za log-normalnu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	55
Slika 10.1.8. Vjerojatnosi papir za gumbelovu distribuciju srednjih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	56
Slika 10.2.1. Krivulje raspodjele maksimalnih godišnjih protoka Jadra za razdoblje 1995.-2014 .....	58
Slika 10.2.2. Krivulje raspodjele maksimalnih godišnjih protoka Žrnovnice za razdoblje .....	58
Slika 10.2.3. Vjerojatnosni papir za normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	59
Slika 10.2.4. Vjerojatnosi papir za log- normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	59
Slika 10.2.5. Vjerojatnosi papir za gumbelovu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Jadra u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	60
Slika 10.2.6. Vjerojatnosi papir za normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	60
Slika 10.2.7. Vjerojatnosi papir za log-normalnu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti.....	61

Slika 10.2.8. Vjerojatnosni papir za gumbelovu distribuciju maksimalnih godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka Žrnovnice u razdoblju 1995.-2014.g. aproksimiran Henry-jev pravac u odnosu na empirijske vrijednosti..... 61

**Popis tablica**

Tablica 3.7.2.1. Prikaz karakterističkih vrijesnosti za Normalnu raspodjelu.....	18
Tablica 3.7.4.1. Funkcija gustoće f i funkcija distribucije F za Gumbelovu distribuciju .....	19
Tablica 4.1. Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. na izvoru Jadra .....	22
Tablica 4.2. Vrijednosti statističkih karakteristika srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. na izvoru Žrnovnice .....	22
Tablica 5.1. Srednji mjesečni protoci po pojedinim mjesecima i godinama za razdoblje 1995.-2014. sa statističkim parametrima i pripadnim vrijednostima za izvor Jadra .....	23
Tablica 5.2. Srednji mjesečni protoci po pojedinim mjesecima i godinama za razdoblje 1995.-2014. sa statističkim parametrima i pripadnim vrijednostima za izvor Žrnovnice .....	24
Tablica 6.1.. Vrijednosti statističkih parametara srednjih dnevnih protoka Jadra .....	28
Tablica 6.1.2. Vrijednosti statističkih parametara srednjih dnevnih protoka Žrnovnice .....	29
Tablica 6.2.1. Prikaz vrijednosti krivulje trajanja i učestalosti Jadra po razredima za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.....	33
Tablica 6.2.2. Prikaz vrijednosti krivulje trajanja i učestalosti Jadra po razredima za cjelokupno razdoblje 1995.-2014.....	34
Tablica 7.1. Prikaz recesijskih koeficijenata za odabrana razdoblja.....	40
Tablica 7.2. Omjer brze i spore komponente otjecanja Jadra .....	41
Tablica 7.3. Omjer brze i spore komponente otjecanja Žrnovnice .....	42
Tablica 9.1.1. Prikaz koeficijenta korelacije izvora Jadra i Žrnovnice za razdoblje 1995.-2014. ....	49
Tablica 10.1.1. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro .....	51
Tablica 10.1.2. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele srednjih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu .....	52
Tablica 10.1.3. Vrijednosti srednjih godišnjih protoka Jadra za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele .....	56
Tablica 10.1.4. Vrijednosti srednjih godišnjih protoka Žrnovnice za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele .....	56
Tablica 10.2.1. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele maksimalnih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Jadro .....	57

Tablica 10.2.2. Vrijednosti vjerojatnosti krivulja raspodjele maksimalnih godišnjih protoka za razdoblje 1995.-2014. za Žrnovnicu .....	57
Tablica 10.2.3. Vrijednosti maksimalnih protoka Jadra za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele .....	62
Tablica 10.2.4. Vrijednosti maksimalnih dnevnih protoka Žrnovnice za odabrane povratne periode korištenjem normalne, log-normalne i gumbelove raspodjele .....	62