

# Usporedba empirijskih i statističkih metoda pri izračunu maksimalnih protoka na primjeru sliva rijeke Horvatske

---

Prežigalo, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:486485>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**Usporedba empirijskih i statističkih metoda pri izračunu maksimalnih  
protoka na primjeru sliva rijeke Horvatske**

Diplomski rad

Nikolina Prežigalo

GI 338

Zagreb, 2019.

*Zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Krešimiru Pavliću i članovima komisije izv. prof. dr. Jeleni Parlov i doc. dr. sc. Zoranu Kovaču koji su me svojim znanjem i iskustvom vodili i usmjeravali kroz izradu ovog rada i svim ostalima koji su mi pomogli svojim savjetima.*

*Veliko hvala mojoj obitelji, prijateljima i kolegama, a posebno mojim roditeljima jer su mi studentske dane učinili nezaboravnim dijelom života.*

*Hvala svima!*

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

USPOREDBA EMPIRIJSKIH I STATISTIČKIH METODA PRI IZRAČUNU  
MAKSIMALNIH PROTOKA NA PRIMJERU SLIVA RIJEKE HORVATSKE

Nikolina Prežigalo

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za matematiku, informatiku i nacrtnu geometriju  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

**Sažetak**

U ovom diplomskom radu cilj je odrediti hidrološke značajke sliva rijeke Horvatske smješteno u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske. Napravljena je godišnja analiza podataka hidrološke stanice Gubaševo 1 te oborina meteoroloških stanica Desinić, Pregrada, Krapinske Toplice, Zabok i Klanjec. Pojava velikih voda za različita povratna razdoblja ispitana su pomoću empirijskih i statističkih metoda. Od empirijskih metoda korištene su: racionalna metoda, Srebrebrenovićeva metoda i metoda V. T. Chowa. Korišteni softver za statističke metode je Hydrognomon 4 te je dao rezultate koji su se usporedili s empirijskim metodama te su se donijeli zaključci pojava velikih voda za različita povratna razdoblja.

Ključne riječi: hidrološke, Horvatska, meteorološke, empirijske, statističke, velike vode

Diplomski rad sadrži: 45 stranica, 20 slika, 12 tablica i 22 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Mentor: Doc. dr.sc. Krešimir Pavlić

Povjerenstvo: Doc. dr. sc. Krešimir Pavlić  
Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov  
Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Datum obrane: 6. rujna 2019.

COMPARISON OF EMPIRICAL AND STATISTICAL METHODS IN THE  
CALCULATION OF MAXIMUM DISCHARGE ON THE CASE OF RIVER BASIN OF  
HORVATSKA

Nikolina Prežigalo

**Abstract**

In this thesis the aim is to determine the hydrological effects of a river basin of Horvatska located in the northwestern part of the Republic of Croatia. The annual data analysis of hydrological station Gubaševo 1 and precipitation meteorological stations Desinić, Pregrada, Krapinske Toplice, Zabok i Klanjec was made. The occurrence of large waters for different return periods was examined using empirical and statistical methods. The used empirical methods were: rational method, Srebrenović method and V. T. Chow method. The software used for the statistical methods is called Hydrognomon 4, which has yielded results that have been compared with empirical methods, and conclusions have been drawn for the occurrence of large waters for different return periods.

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of mathematics, informatics and descriptive  
geometry  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Keywords: hidrological, Horvatska, meteorological, empirical, statistical, large waters

Thesis contains: 46 pages, 20 figures, 12 tables i 22 references

Original in Croatian

Thesis deposited at: The Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum  
Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Krešimir Pavlić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Krešimir Pavlić, PhD  
Associate Professor Jelena Parlov, PhD  
Assistant Professor Zoran Kovač, PhD

Date of defense: 06<sup>th</sup> September 2019

## SADRŽAJ

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Područje istraživanja .....</b>	<b>2</b>
2.1 Geografske značajke .....	2
2.2 Klimatske značajke .....	4
<b>3. Geološke i hidrogeološke značajke .....</b>	<b>12</b>
3.1 Geološke značajke .....	12
3.2 Hidrogeološke značajke istraživnog područja.....	19
<b>4. Velike vode .....</b>	<b>23</b>
4.1 Empirijske metode za maksimalne godišnje protoke različitih povratnih razdoblja .....	24
4.1.1 Srebnovićeva formula.....	25
4.1.2 Racionalna metoda.....	32
4.1.3 Metoda V. T. Chow .....	34
<b>5. Statističke metode.....</b>	<b>38</b>
5.1 Statistička obrada podataka .....	39
<b>6. Zaključak .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Literatura.....</b>	<b>46</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2.1</b> Izvor rijeke Horvatske .....	2
<b>Slika 2.2</b> Položaj Krapinsko-zagorske županije.....	3
<b>Slika 2.3</b> Prosječna mjesečna temperatura zraka u razdoblju 2008. – 2014. ....	4
<b>Slika 2.4</b> Prostorni položaj meteoroloških stanica .....	6
<b>Slika 2.5</b> Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Desinić .....	7
<b>Slika 2.6</b> Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Pregrada .....	7
<b>Slika 2.7</b> Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Klanjec 1980. - 2018.....	8
<b>Slika 2.8</b> Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Klanjec za godine gdje postoje mjerjenja dnevnih količina oborina .....	8
<b>Slika 2.9</b> Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Krapinske Toplice .....	9
<b>Slika 2.10</b> Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Zabok .....	10
<b>Slika 2.11</b> Beaufortova ljestvica ( <a href="https://www.wsurf.net/vrijeme-beaufort.php">https://www.wsurf.net/vrijeme-beaufort.php</a> ).....	11
<b>Slika 3.1</b> Shematizirana geološka karta Hrvatskog zagorja (preuzeto iz projekta EGPV, 1988 – 2000).....	13
<b>Slika 3.2</b> Položaj i izgled hidrološke stanice Gubaševo 1.....	20
<b>Slika 3.3</b> Hidrogram maksimalnih protoka u razdoblju od 1980. do 2017. godine .....	22
<b>Slika 3.4</b> Hidrogram minimalnih protoka u razdoblju od 1980. do 2017. godine .....	22
<b>Slika 4.1</b> Prikaz Digitalnog modela reljefa sliva rijeke Horvatske .....	26
<b>Slika 4.2</b> Hipsometrijska krivulja na slivu rijeke Horvatske .....	27
<b>Slika 4.3</b> Grafički prikaz parametara za proračun godišnjih protoka za Srebrenovićevu metodu .....	31
<b>Slika 4.4</b> Grafički prikaz parametara za proračun maksimalnih godišnjih protoka za metodu V. T. Chowa .....	37
<b>Slika 5.1</b> Histogram maksimalnih godišnjih protoka rijeke Horvatske .....	39
<b>Slika 5.2</b> Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja rijeke Horvatske .....	41
<b>Slika 5.3</b> Prikaz rezultata Kolmogorovog testa maksimalnih godišnjih protoka rijeke Horvatske.....	44

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 2-1</b> Meteorološke stanice (naziv i položaj).....	5
<b>Tablica 3-1</b> Koordinatni položaj hidrološke stanice Gubaševo 1 .....	20
<b>Tablica 3-2</b> Prikaz maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka u razdoblju od 1983. do 2017. godine .....	21
<b>Tablica 4-1</b> Podaci korišteni u Srebrenovićevoj metodi.....	25
<b>Tablica 4-2</b> Tablični prikaz podataka potrebnih za hipsometrijsku krivulju.....	27
<b>Tablica 4-3</b> Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja za sliv rijeke Horvatske prema Srebrenovićevoj formuli.....	30
<b>Tablica 4-4</b> Podaci korišteni u V. T. Chow metodi .....	32
<b>Tablica 4-5</b> Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja za sliv rijeke Horvatske prema racionalnoj metodi.....	33
<b>Tablica 4-6</b> Podaci korišteni u metodi V. T. Chow .....	34
<b>Tablica 4-7</b> Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja za sliv rijeke Horvatske prema V. T. Chow metodi.....	37
<b>Tablica 5-1</b> Rezultati maksimalnih protoka određenih povratnih razdoblja za rijeku Horvatsku .....	41
<b>Tablica 5-2</b> Kritične vrijednosti $D_0$ testa A. N. Kolmogorova za različite brojeve članova niza $n$ kod razine povjerenja $\alpha=0,05$ uobičajene u hidrologiji (prema S. Jovanović, 1981.) .....	43



## 1. Uvod

Vodno tijelo rijeke Horvatske nalazi se na području Krapinsko-zagorske županije, točnije na sjeverozapadu Republike Hrvatske. Površina slivnog područja iznosi otprilike 232 km<sup>2</sup>. U dolini Horvatskog potoka leži Tuhelj i poznate Tuheljske Toplice po termalnom izvoru. Tok rijeke Horvatske je dug otprilike 31 km. Sliv je na zapadu omeđen državnom granicom sa Slovenijom, na jugu se ulijeva u rijeku Krapinu koja je istovremeno i najveća rijeka u Hrvatskom zagorju. Istočni dio sliva je brežuljkasti te se pruža od grada Pregrade do Zaboka.

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati hidrološke značajke sliva Horvatske na temelju statističkih i iskustvenih ili empirijskih metoda. Potrebno je usporediti ta dva pristupa na slivu Horvatske gdje bi se trebala moći potvrditi točnost poznatih empirijskih metoda na slivu gdje imamo podatke. Statističke metode su zapravo kontrola empirijskih metoda. Iskustvene ili empirijske metode izražavaju maksimum protoka kao funkcije veličine sliva i drugih čimbenika koji karakteriziraju sliv, ne koristeći mjerene podatke. Na taj se način mogu izračunavati i neki drugi hidrološki parametri kao primjerice prosječan protok i pronos lebdećeg (suspendiranog) nanosa. Postoji nekoliko iskustvenih formula za definiranje maksimalnih protoka različitih povratnih razdoblja, no u ovome radu korištene su Racionalna metoda (Kuichling, 1889), Srebrenovićeva formula za male slivove (Srebrenović, D., 1970) i Metoda V. T. Chowa (Chow, 1960; Chow, 1964). Svaka od metoda bit će objašnjena tokom ovog rada.

## 2. Područje istraživanja

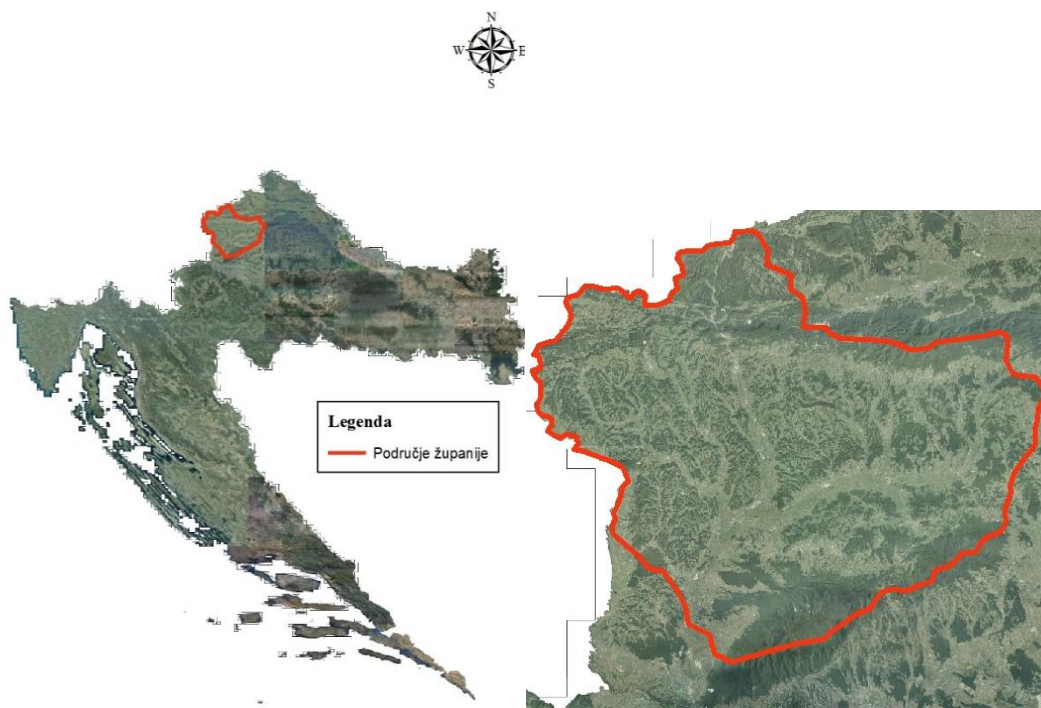
Vodno tijelo rijeke Horvatske nalazi se na području Krapinsko-zagorske županije, točnije na sjeverozapadu Republike Hrvatske i pripada prostoru središnje Hrvatske. Postoji nekoliko izvora rijeke Horvatske, no najznačajniji nalazi se sjeverozapadno od Desinića, točnije između Štruklec brega čija je najviša nadmorska visina 485 m n.m. i Koštrunova brega čije je najveća nadmorska visina 474 m n.m. (Slika 2.1).



**Slika 2.1** *Izvor rijeke Horvatske*

### 2.1 Geografske značajke

Hrvatsko zagorje pruža se od vrhova Macelja i Ivanščice na sjeveru do Medvednice na jugoistoku. Zapadno graniči kao i sam sliv sa Republikom Slovenijom gdje je prirodna granica rijeka Sutla. Istočnu granicu predstavljaju porječje Krapine i Lonje (Slika 2.2). Površinom od 1229 km<sup>2</sup> je jedna od manjih županija s gustoćom stanovnika od 108,1 stan./km<sup>2</sup> (<http://www.kzz.hr/općenito>).



**Slika 2.2** *Položaj Krapinsko-zagorske županije*

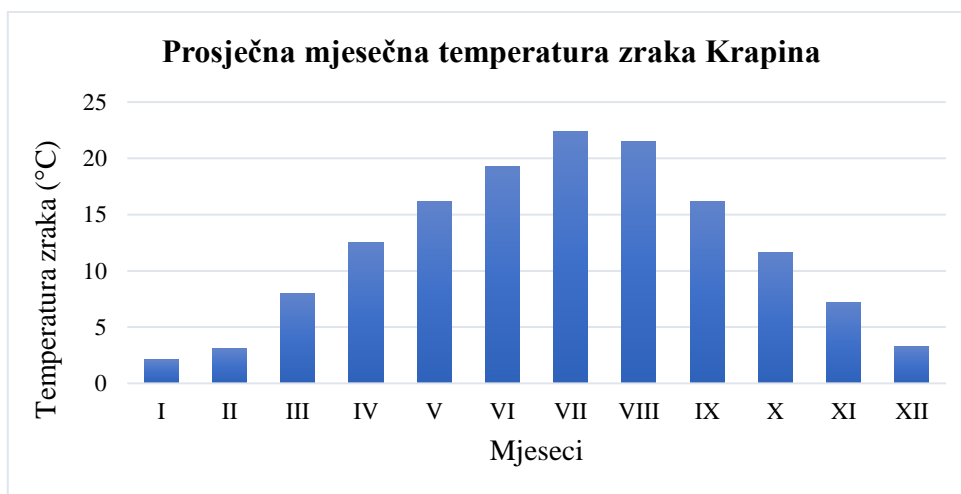
Na području županije zastupljena su tri tipa reljefa: aluvijalne doline, brežuljkasti krajevi i gorski masivi. *Sliv Sutle i Krapine* (Hrvatske vode, 2013) čiji su slivovi objedinjeni prema *Planu upravljanja vodnim područjima* (Hrvatske vode, 2013) najveće su rijeke u Hrvatskom zagorju te imaju velik značaj za razvoj gradova, poljoprivrede te izgradnju međunarodnih prometnih pravaca. Doline rijeka izgrađene su uglavnom od slabopropusnog materijala i imaju mali nagib što uzrokuje dugo zadržavanje i slabo otjecanje oborinskih voda. Upravo u manje slivove rječica se ubraja sliv rijeke Horvatske uz rječice Krapinice, Reke i Kosteljine. Doline tih rječica su uglavnom poljoprivredne površine.

Ivanščica, Strahinjčica, Maceljsko gorje i Medvednica predstavljaju gorske masive te zahvaćaju veliku površinu. Važni su zbog izvora pitke vode i većih šumskih područja. U brežuljkaste krajeve spadaju pobrđa kao izdvojene reljefne cjeline, osunčana kvalitetna tla koja se koriste za poljoprivredu, voćarstvo, vinogradarstvo te manje šumske površine.

## 2.2 Klimatske značajke

Na području Krapinsko-zagorske županije prevladava kontinentalna humidna klima koju karakteriziraju umjereno topla ljeta te kišovite i hladne zime. Ruski znanstvenik Wladimir Peter Köppen klasificirao je klimu prema dva prevladavajuća klimatska elementa: temperaturi zraka i oborinama (Köppen, 1918). Njegova klasifikacija temelji se na točno određenim godišnjim i mjesečnim vrijednostima temperature i oborina. Klasificirao je pet klimatskih razreda, od kojih klima Hrvatskog zagorja spada u razred C: umjereno topla kišna klima. Postoje faktori koji utječu na takvu vrstu klime, a to su: utjecaj Panonske nizine, planinskog sustava Alpa i Dinarida, opća atmosferska cirkulacija karakteristična za geografsku širinu i reljef kao utjecaj na lokalne klimatske različitosti.

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) prosječna godišnja temperatura za hidrometeorološku postaju Krapina u razdoblju od 2008. do 2014. godine bila je 9,5 °C. Najhladniji mjesec je siječanj s prosječnom temperaturom 2 °C, a najtopliji srpanj s prosječnom temperaturom 22,3 °C (slika 2.3).



**Slika 2.3** Prosječna mjesečna temperatura zraka u razdoblju 2008. – 2014.

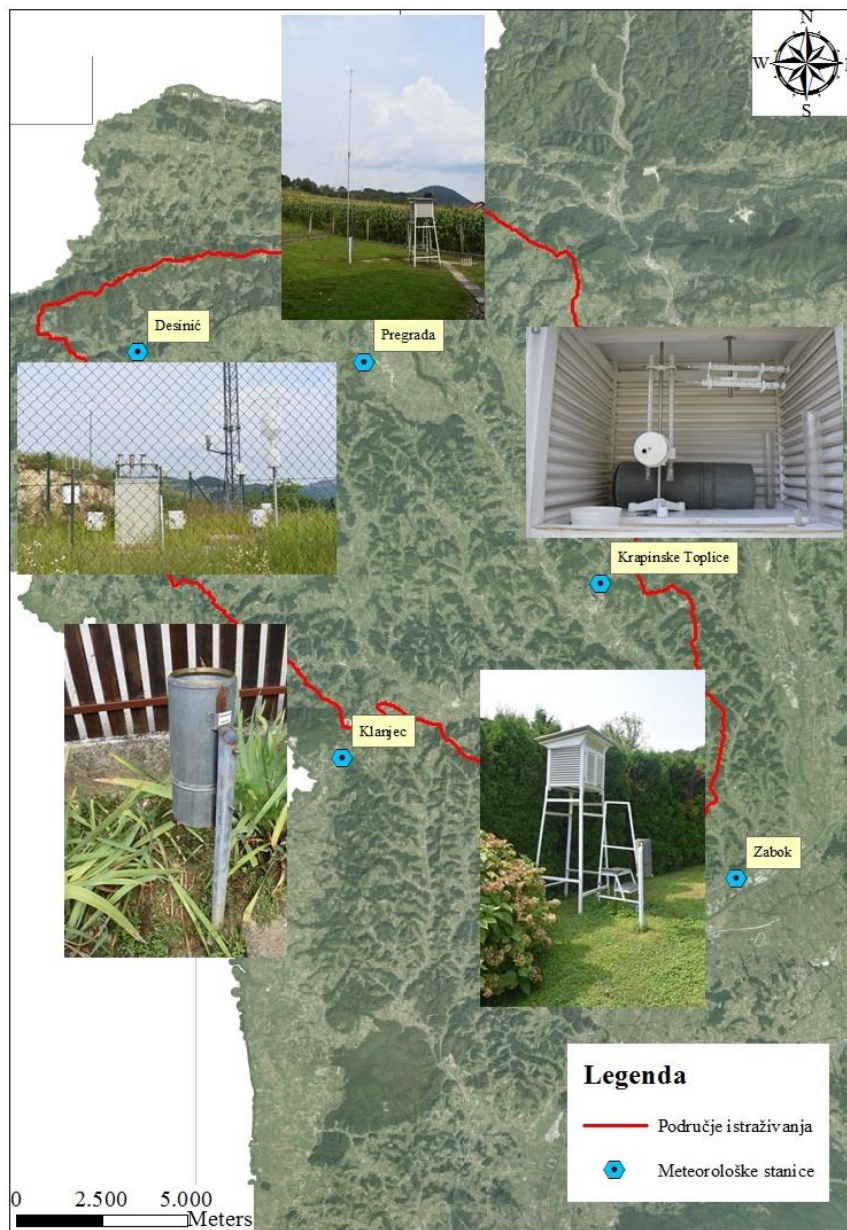
Krapinsko-zagorska županija je područje kontinentalnoga oborinskog režima s čestim i obilnim kišama u svibnju, lipnju i srpnju, tj. tijekom vegetacijskog perioda. Drugi oborinski maksimum je u mjesecu studenome, dok je najmanje oborina u veljači i ožujku.

Za vodni sliv rijeke Horvatske korišteni su podaci s pet meteoroloških stanica: Desinić, Pregrada, Klanjec, Krapinske Toplice i Zabok (Slika 2.4). Podaci su dobiveni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda. Koordinatni položaj meteoroloških stanica čiji su podaci korišteni u ovom radu nalaze se u Tablici 2-1. Na meteorološkim stanicama mjere se dnevne količine oborina. Zbrajanjem dnevnih količina dobiju se mjesečne, a njihovim zbrajanjem godišnje. Godišnji hod oborine predstavlja niz od 12 uzastopnih mjesečnih količina.

**Tablica 2-1** Meteorološke stanice (naziv i položaj)

Naziv stanice	HTRS 96 / TM (16° 30')	
	x(m)	y(m)
Pregrada	441937,15	5113066,38
Desinić	435331,46	5113350,15
Klanjec	441293,52	5101486,02
Zabok	452807,00	5097949,81
Krapinske Toplice	448841,81	5106566,69

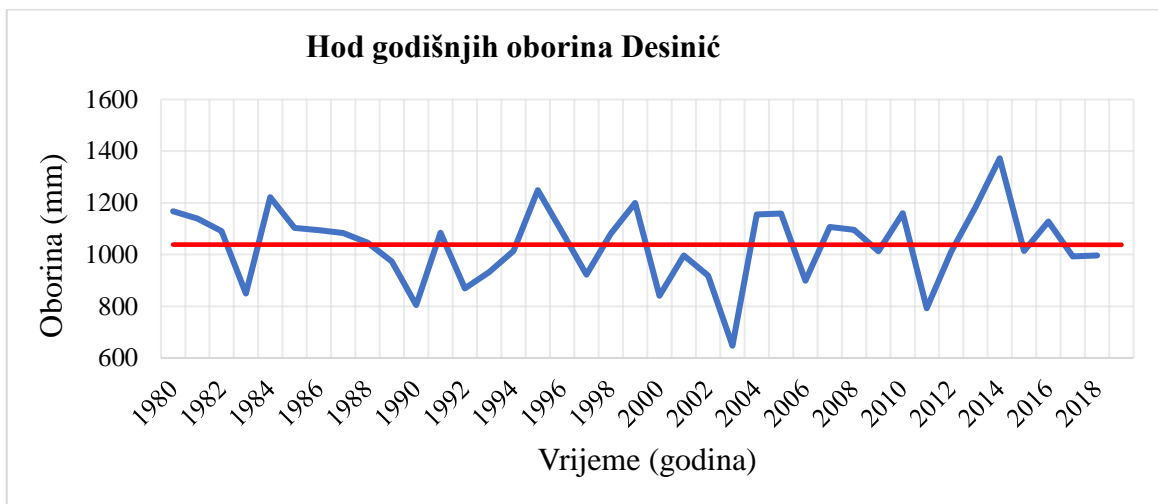
Količina oborina mjeri se u mm, a 1 mm predstavlja 1 litru po metru kvadratnome.



Slika 2.4 Prostorni položaj meteoroloških stanica

### Meteorološka stanica Desinić

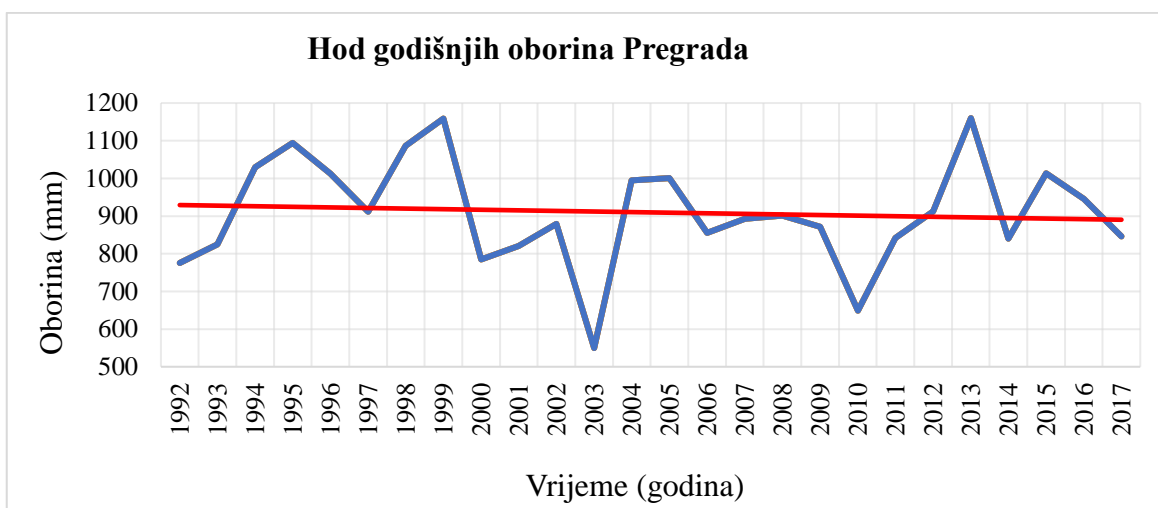
Godišnja količina oborina za postaju Desinić u razdoblju od 1980. do 2018. godine se kretala od 647,4 do 1372,4 mm (Slika 2.5), s prosječnom vrijednošću od 1038,3 mm.



**Slika 2.5** Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Desinić

### Meteorološka stanica Pregrada

Godišnja količina oborina za postaju Pregrada u razdoblju od 1992. do 2017. godine se kretala od 549,7 do 1159,9 mm (Slika 2.6), s prosječnom vrijednošću od 909,7 mm.

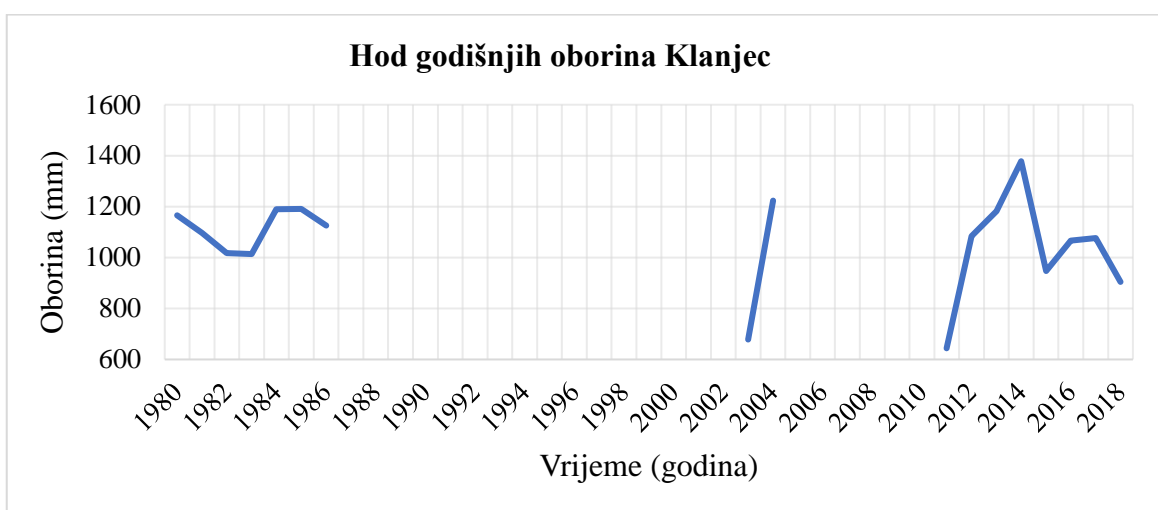


**Slika 2.6** Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Pregrada

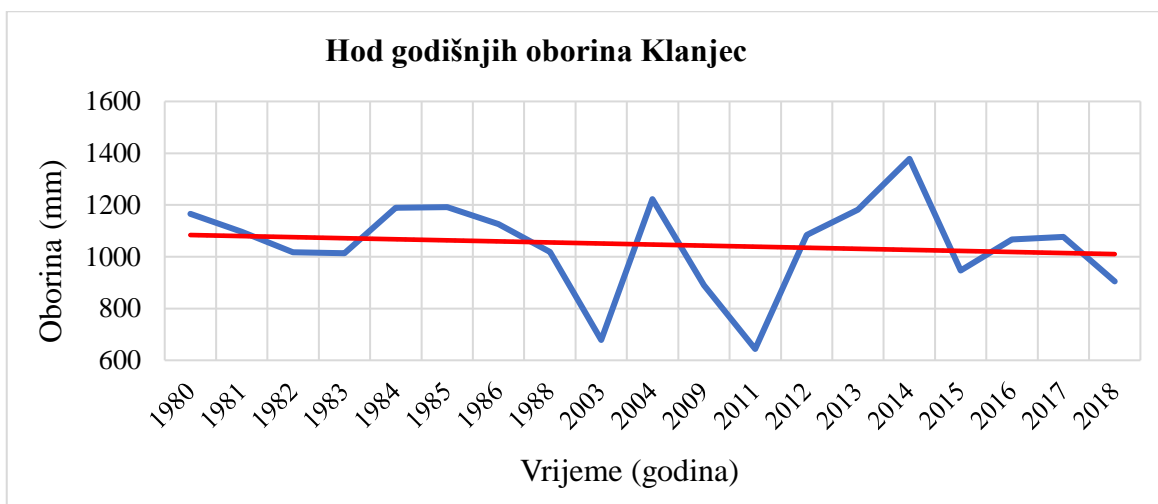
## Meteorološka stanica Klanjec

Meteorološka stanica Klanjec najlošije je rangirana po dosljednosti mjerenja dnevnih oborina. Stanica postoji od 1980. godine, no podataka nema za svaku godinu. Pa se tako iz grafa (Slika 2.7) mogu uočiti nedostaci navedenih podataka.

Ako se promatraju one godine u kojima su podaci dosljedni, možemo odrediti neku godišnju količinu oborina (Slika 2.8). Za postaju Klanjec kretala se od 643,8 do 1378,2 mm, s prosječnom vrijednošću od 1047,0 mm.



**Slika 2.7** Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Klanjec 1980. - 2018.

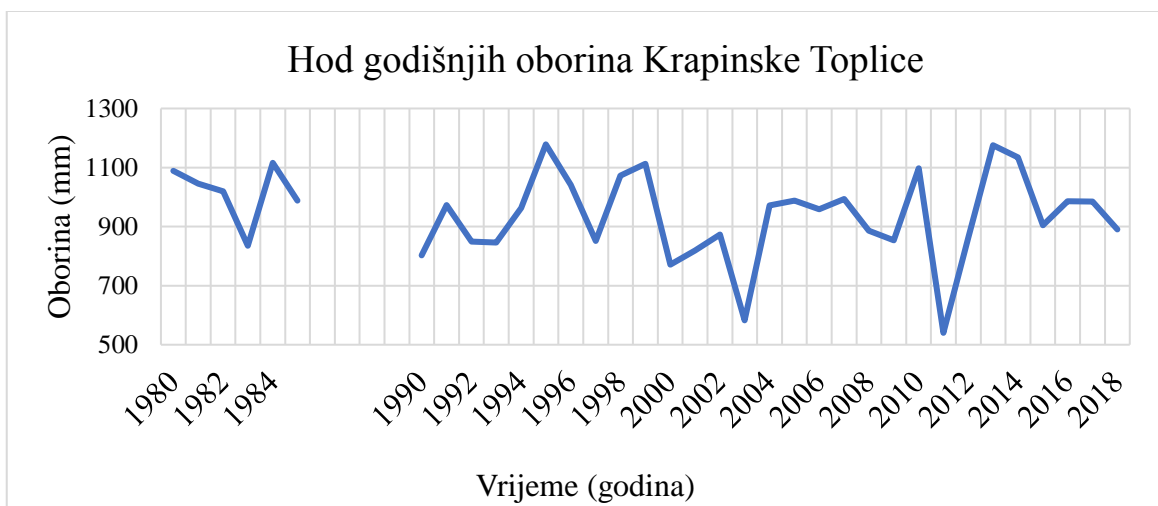


**Slika 2.8** Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Klanjec za godine gdje postoje mjerenja dnevnih količina oborina



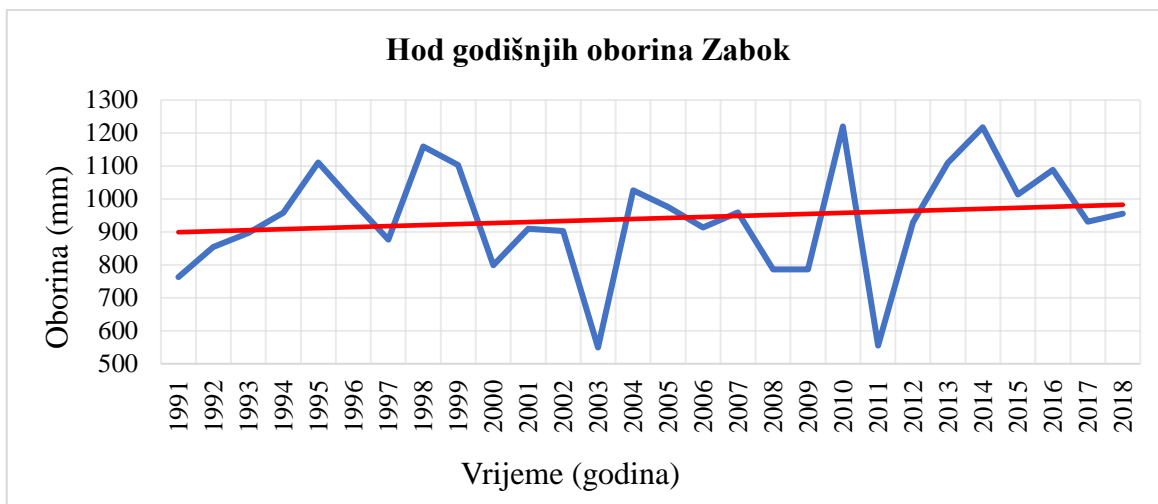
### *Meteorološka stanica Krapinske Toplice*

Na meteorološkoj stanici Krapinske Toplice mjerenja postoje od 1890. do 2018. godine, no podataka nema za razdoblje od 1986. do 1989. godine što se može vidjeti na grafu (Slika 2.9). Godišnja količina oborina kretala od 540,2 do 1178,5 mm, s prosječnom vrijednošću od 915,9 mm.



**Slika 2.9** *Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Krapinske Toplice*














Godišnja količina oborina za postaju Zabok u razdoblju od 1991. do 2018. godine se kretala od 549,4 do 1219,9 mm (Slika 2.10), s prosječnom vrijednošću od 940,8 mm.



**Slika 2.10** Hod godišnjih oborina za meteorološku postaju Zabok

Tijekom cijele godine postoji mogućnost pojave magle. U zimskom dobu magla je prisutna tokom cijelog dana, dok po ljeti isključivo ujutro i navečer. Mjeseci koji bilježe najčešću pojavu magle su rujan, listopad, studeni i prosinac. Godišnje je 56 dana smanjena vidljivost zbog magle što je oko 15% godišnje (Habdija Žigman i dr., 2015).

Vjetrovi se u Hrvatskom zagorju modificiraju pod utjecajem reljefa. Tijekom cijele godine prisutni su zapadni vjetrovi koji čine 45% trajanja tokom godine. Na drugom su mjestu istočni vjetrovi sa 29% trajanja, a bez vjetra je oko 6% godišnjeg vremena. Tijekom kasne jeseni do početka proljeća prisutni su najjači vjetrovi koji se kreću u rasponu od 6 do 9 Bofora (Habdija Žigman i dr., 2015). Beaufortova ljestvica definirana je učincima vjetra na svoju okolinu bez upotrebe instrumenata (slika 2.11).

bofora	naziv vjetrova	učinak vjetrova na kopnu	učinak vjetrova na moru	slika	brzina vjetrova
0	tišina	Dim se diže vertikalno u vis, zastave i lišće su nepomični	površina vode kao ogledalo		do 0.3 m/s do 1 km/h
1	lahor	vjetrušlja se ne pokreće, može mu se razaznati smjer prema dimu koji se podiže	mrežkanje vode		0.4 - 1.5 m/s 1 - 5 km/h
2	povjetarac	vjetrušlja se pokreće, lišće trepti, svileni zastava leprša	mali valići, kreste valića su još prozirne i ne lome se		1.6 - 3.3 m/s 6 - 11 km/h
3	slab vjetar	lišće zajedno s graničkama se neprekidno njiše i šušti, zastava leprša	veći valići, kreste valića se počinju lomiti		3.4 - 5.4 m/s 12 - 19 km/h
4	umjeren vjetar	diže prašinu, suho lišće i papir s tla; zastavu drži ispruženu, njiše manje grane	mali valovi, bijele krijeste na vrhovima valova		5.5 - 7.9 m/s 20 - 28 km/h
5	umjereno jak vjetar	njiše veće lisnate grane a i čitava mala stabla	umjereni valovi, puno bijelih krijesti na vrhovima valova		8.0-10.7 m/s 29 - 38 km/h
6	jak vjetar	svižuju se velike grane, teško je nositi otvoren kloban, telefonske žice svižoe	veliki valovi se formiraju, bijele krijeste su posvuda		10.8-13.8m/s 39 - 49 km/h
7	vrio jak vjetar	njiše se neprekidno veće lisnate drveće, hodanje protiv vjetrova je otežano	vjetar počinje otpuhivati pjenu sa valova niz vjetar		13.9-17.1m/s 50 - 61 km/h
8	olujni vjetar	njiše čitava stabla i lomi velike grane; sprečava svako hodanje protiv vjetrova	umjereni visoki valovi velike dužine, krijeste valova se lome kružno, vjetar nosi pjenu		17.2-20.7m/s 62 - 74 km/h
9	oluja	pomiče manje predmete i baca crijep, čini manje štete na kućama i drugim objektima	visoki valovi, guste pruge pjene niz vjetar, smanjena vidljivost		20.8-24.4m/s 75 - 88 km/h
10	jaka oluja	obara drveće i čupa ga s korijenjem; čini znatne štete na zgradama	vrlo visoki valovi sa velikim visećim krijestama, skoro cijela površina je bijela		24.5-28.4m/s 88-102 km/h
11	teška oluja	čini teške štete, na većem području djeluje razorna	extremno visoki valovi, sva površina bijela od pjene, vidljivost jako smanjena		28.5-32.6m/s 103-117km/h
12	orkan	opustoši čitav jedan kraj	zrak je ispunjen sa kapljicama vode i pjenom, cijela površina bijena, jako mala vidljivost		32.7-36.9m/s 118-133km/h

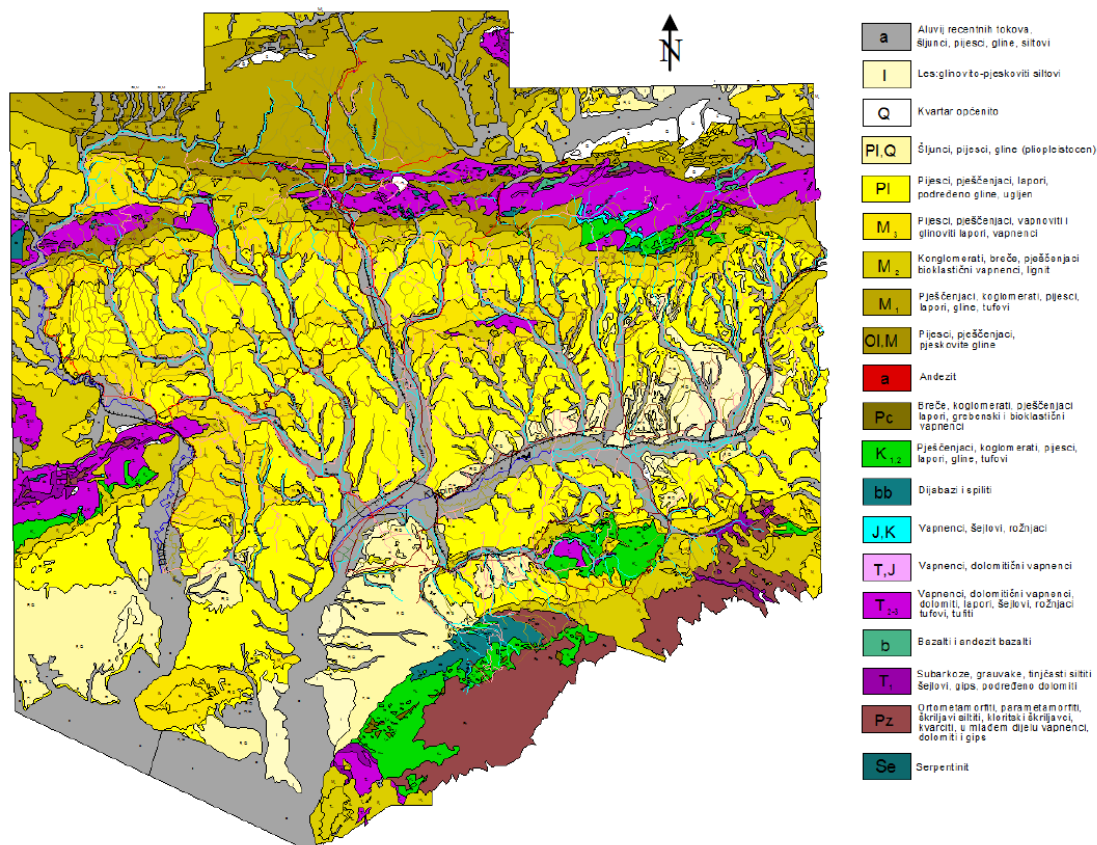
Slika 2.11 Beaufortova ljestvica (<https://www.wsurf.net/vrijeme-beaufort.php>)

### **3. Geološke i hidrogeološke značajke**

Područje Krapinsko – zagorske županije odlikuje se raznovrsnom geološkom građom što je posljedica različitih tektonskih posljedica tijekom prošlosti. Najznačajniji rubni rasjedi koji okružuju područje županije nastali su u završnom stadiju tektonizacije, u pliocenu i kvartaru. Ima elemenata alpske građe i reljefa te manje elemenata panonske građe. Alpskim ograncima pripadaju Ivanščica sa Strugačom, Strahinjčica te Maceljska, Cesargradska i Desinić gora. Jugoistočni dio zatvara Medvednica. Prema Mercallijevoj skali, seizmičnost ovog prostora iznosi 7-8 stupnjeva.

#### **3.1 Geološke značajke**

Za prikaz geoloških odnosa (Slika 3.1) korišteni su podaci Osnovne geološke karte M 1:100.000, list Rogatec (Aničić i Juriša, 1983) s pripadajućem Tumačem za geološku kartu list Rogatec (Aničić i Juriša, 1983), list Varaždin (Šimunić i dr., 1981) s pripadajućem Tumačem za geološku kartu list Varaždin (Šimunić i dr., 1981), list Zagreb (Šikić i dr., 1972) s pripadajućem Tumačem za geološku kartu list Zagreb (Šikić i dr., 1979) i list Ivanić grad (Basch, 1981) s pripadajućem Tumačem za geološku kartu list Ivanić grad (Basch, 1983).



**Slika 3.1** Shematizirana geološka karta Hrvatskog zagorja (preuzeto iz projekta EGPV, 1988 – 2000)

Pomoću navedenih tumača opisana su geološka razdoblja koja su prisutna u Hrvatskom zagorju.

**Gornji paleozoik (P<sub>z2</sub>)** zastupljen je krupnozrnatim pješčenjacima, šejlovima i niskometamornim škriljevcima.

Na sjevernim padinama Ivanščice i sjeveroistočnim padinama Medvednice pojavljuju se naslage gornjeg paleozoika koje se sastoje od krupnozrnatih, grauvaknih pješčenjaka, tinjčastih siltita, šejlova i od kvarc-sericitskih, glaukofanskih, albit-kvarc-muskovitskih i sericitskih škriljevaca (Šimunić i dr., 1981). Velika tektonska poremećenost i pokrivenost terena onemogućuju utvrđivanje njihovog međusobnog odnosa unutar paleozojskog kompleksa. Pješčenjake izgrađuju čestice niskometamornih škriljevaca. Grauvake se sastoje od slabo do srednje sortiranog detritusa, kojeg čini kvarc, kvarcit, čestice kremenih, kvarc-sericitnih i sericitnih škriljevaca te klorita i biotita. Unutar grauvaka tinjčasti siltiti se pojavljuju kao proslojci. Na njima leže diskordantno konglomeratične i brečaste litične grauvake crveno-smeđe boje (Šimunić, 1992).

**Donji trijas (T<sub>1</sub>)** je zastupljen u pješčenjacima, šejlovima, laporima, vapnencima i dolomitima.

Donjotrijaske naslage mogu se prema litološkom sastavu podijeliti u donji, klastični i gornji, karbonatni dio (Šimunić, 1992). Na površini se nalaze na području centralnog dijela Ravne gore, na sjevernim padinama Ivanščice i Medvednice i kao manji izdanci na potezu od Margečana preko Lepoglave. Najveća debljina i raspostranjenost je na Ravnoj gori (oko 200 m). Postoji međusoban prijelaz gornjopaleozojskih klastita s bazom donjeg trijasa, najčešće na gornjopaleozojskim grauvaknim pješčenjacima i šejlovima, slijedi višestruka izmjena crvenosmeđih, žutih i sivih, tinjčastih pješčenjaka, silitita i šejlova, uz povremene pojave oolitičnih vapnenaca i lapora. Ponegdje se na granici nalaze sitnozrni, sivi dolomiti debljine nekoliko metara. Pješčenjaci su protokvarciti i subarkoze, katkad prividno uškrljeni, detritus se sastoji od kvarca, feldspata i muskovita. Silititi i sitnozrni pješčenjaci su tinjčasti, sastoje se od muskovita, sericita, klorita i kvarca. Šejl i lapor imaju glavne sastojke glinu, muskovit i sericit, rjeđe kvarc, klorit i kalcit. Unutar klastita dolaze oolitični vapnenci kao leće i proslojci, sivožute do crvenosmeđe boje. U gornjem dijelu donjeg trijasa su najzastupljeniji tamnosivi, pločasti i tankouslojeni vapnenci, katkad s proslojcima šejlova i oolitičnih vapnenaca, najviše na području Ravne gore. Tamnosivi vapnenci su izgrađeni od sitnozrnatog sparitskog kalcita, homogene strukture, a mogu sadržavati primjese kvarca i limonitno-glinovite supstance (Šimunić, 1992).

**Srednji trijas (T<sub>2</sub>)** je zastupljen dolomitima, vapnencima i dolomitnim brečama.

Postupan prijelaz tamnosivih pločastih vapnenaca donjeg trijasa u tamnosive dolomite srednjeg trijasa vidi se u kamenolomima V. Sotinske na Ravnoj gori i u zapadnim dijelovima Ivanščice (Šimunić i dr., 1981). Karbonati su većinom dolomitizirani. Rijetko sačuvani vapnenci su rekristalizirani i djelomično silificirani. Razdvajanje srednjeg od gornjeg trijasa nije moguće zbog kontinuirane sedimentacije, pokrivenosti terena i poremećenosti sedimenata (Šimunić, 1992).

**Gornji trijas (T<sub>3</sub>)** izgrađen je od vapnenaca, dolomita i dolomitnih breča.

Naslage gornjeg trijasa su na površini najzastupljenije na Ivanščici. Izgrađuju ih gromadasti ili debelouslojeni, sivi sitnozrni vapnenci i dolomiti. Često su te naslage zdrobljene i pretvorene u tektonske breče koje označavaju glavne rasjedne zone. Šimunić (1992) pretpostavlja da je debljina gornjotrijaskih naslaga na Ivanščici oko 400 m.

Vapnenci su klasificirani kao fosiliferni i peletski mikriti te algalni biomikriti. Krupnozrnati metamorfizirani vapnenci ponekad imaju leće dolomita koji su određeni kao intraklastični i sitnozrnati dolomiti, dok su stromatolitni rjeđi (Šimunić, 1992).

**Jura – Kreda (J, K)** je izgrađena od vapnenaca, šejlova i rožnjaka.

Na korodiranoj trijaskoj karbonatnoj podlozi došlo je do taloženja tankopločastih, svjetlosivih i žutih vapnenaca, koji su određeni kao pelicipodno-radiolarijski biomikriti, radiolarijski biomikriti i fosiliferni biomikriti (Babić i Zupanič, 1973). Sjeverno od Podruta nalaze se naslage vapnenca koje se izmjenjuju s radiolarijskim šejlovima i radiolarijskim rožnjacima (Šimunić, 1992).

**Otriv-turon (ββ)** izgrađuju bazični eruptivi dijabazi, spilitizirani dijabazi i spiliti.

Na južnim padinama centralnog i istočnog dijela Ivanščice i u centralnom dijelu Kalničkog gorja nalaze se bazični eruptivi. Kredni bazični eruptivi su vezani uz kredni vulkanogeno-sedimentni kompleks. Odnos prema sedimentima je najčešće tektonskog karaktera. Do proboja eruptiva je došlo najvjerojatnije tijekom taloženja vulkanogeno-sedimentnih naslaga. Na temelju kemijskih analiza izdvojeni su dijabazi, spilitizirani dijabazi i spiliti (Šimunić, 1992).

**Kreda (K<sub>1,2</sub>)** je izgrađena od pješčenjaka, šejlova, lapora, vapnenaca i rožnjaka.

Naslage krednog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa karakterizira veliki broj litoloških članova, odnosno česta i nepravilna izmjena pješčenjaka, šejlova, lapora, rožnjaka, vapnenaca i silificiranih vapnenaca, tufova i spilitiziranih dijabaza. Među krednim sedimentima prevladavaju pješčenjaci sive ili sivozelene boje koji su prema sastavu određeni kao grauvake. Glavni sastojak je mikrokristalasti kvarc uz primjese kalcita i željeznog oksida. Kod šejlova glavna komponenta je hidromuskovit, kvarc, feldspati, kaolinit, klorit i ugljevitna supstanca. Glavni sastojak u radiolarijsko-silicijskim šejlovima je mikrokristalasti kvarc, dodatno prisutni mikrokristalasti kalcit, kaolinit, hidromuskovit i rekristalizirane radiolarije. Vapnenci su tankouslojeni sive ili sivožute boje (Šimunić, 1992).

**Paleogen** izgrađuje najmanje dijelove terena i do danas su se sačuvali samo eocenski i oligocenski sedimenti. Eocenski sedimenti nalaze se u obliku erozijskih ostataka ili tektonskih krpa, a oligocenski kao uska zona koja okružuje Ravnu goru (Šimunić, 1992).

**Oligomiocenski sedimenti (Ol, M)** su izdvojeni na Ivanščici gdje okružuju mezozojsku jezgru.

**Neogen** je najzastupljeniji na istraživanom terenu.

**Donji miocen (M<sub>1</sub>)** je zastupljen pješčenjacima, konglomeratima, šljuncima, laporima i glinama.

Veliko raspostranjenje ovog stratigrafskog člana je prisutno u području Ivanščice i Kalnika. Glavni litološki članovi su pijesci, pješčenjaci, konglomerati i šljunci, a sporedni lapor, gline, tufovi i ugljen. Kvarc je glavni mineralni sastojak. Pješčenjaci su sive do tamnosive boje ako su svježi, a trošenjem dobivaju različite nijanse smeđe. Polimikritni konglomerati i breče imaju veličinu čestica od 0,5 do 2 cm. Boja lapora je zelenkastosiva i plavičastosiva. Sadrži do 45% CaCO<sub>3</sub>. Glavni sastojak glina je montmorilonit, uz prisustvo kvarca, kristobalita i hidromuskovita s ilitom, a boje glina su sive, zelenkastosive i plavičastosive (Šimunić, 1992).

**Baden (M<sub>4</sub>)** je zastupljen biogenim, pjeskovitim i laporovitim vapnencima, vapnenačkim laporima i pješčenjacima.

Badenske naslage prekrivaju velike površine južnog pribrežja Ivanščice, nalaze se i na sjeveroistočnim obroncima Ravne gore te na Kalniku. Najviše su zastupljeni vapnenački sedimenti, primarno biogeni i pjeskoviti vapnenci, laporoviti vapnenci i vapnenački lapori, a prisutni su još i pješčenjaci, konglomerati, breče, pijesci i lapori. Najzastupljeniji litološki član je biogeni vapnenac, gromadasta do dobro uslojena stijena, bijele, svijetlosive i žućkaste boje, koja sadrži 85-96% CaCO<sub>3</sub>. U predjelu Strugače, na području južno od Ivanščice i sjeverno od Kalnika ima pješčenjaka, koji su određeni kao litoareniti i pjeskoviti biospariti. Vapnenački lapori i laporoviti vapnenci su dobro uslojeni žućkastosmeđe i sive boje (Šimunić, 1992).

**Sarmat (M<sub>5</sub>)** je zastupljen pločastim i listićavim vapnencima, pjeskovitim vapnencima, glinovitim i bituminoznim laporima, te pješčenjacima.

Naslage sarmata slijede kontinuirano i konkordantno na sedimente gornjeg badena. Na sjevernim i južnim obroncima Ivanščice i Varaždinsko-Topličkog gorja znatno su rasprostranjenije. Taloženje naslaga sarmata je isključivo u brakičnoj sredini. Dominiraju pločasti laporoviti i listićavi vapnenci, pjeskoviti vapnenci, vapnenački lapori, glinoviti i bituminozni lapori. Dobrouslojeni do pločasti laporoviti vapnenci, vapnenački lapori i lapori



su žućkaste, žućkastosive i smeđkaste boje, s primjesama gline i limonita. Listićavi vapnenci sadrže do 96% CaCO<sub>3</sub>. Amorfna glinena tvar je glavni sastojak kod glinovitih lapora, sadržaj karbonatne komponente je 30%, primjese su kvarc i muskovit. Na području sjeverno od Kalnika određeni su pješčenjaci i pijesci. Pješčenjak je sive boje, određen kao litoarenit, sadrži 35 do 60% karbonatne komponente (Šimunić, 1992).

**Panon (M<sub>6</sub>)** je zastupljen laporovitim vapnencima i vapnenačkim laporima, laporima, pješčenjacima i pijescima.

Naslage panona slijede kontinuirano i konkordantno na sarmat. U obliku tektonski razlomljene zone pružaju se na području sjeverno od Ivanščice, južno od Ivanščice te na području sjeverno od Varaždinsko-Topličkog gorja. Laporoviti vapnenci i vapnenački lapori su dominantan litološki član, a podređeni su lapori, pješčenjaci i pijesci. Pločaste stijene neravnih slojnih ploha, žućkaste do svijetlosive boje određene su kao laporoviti vapnenci i vapnenački lapori, međusobno se razlikuju po sadržaju karbonatne komponente u rasponu od 73-92%. Na području sjeverno od Kalnika lapori se izmjenjuju s pijescima i pješčenjacima, a ponegdje s laporovitim vapnencima. Lapori na području između Strugače i Ivanščice sadrže 65% CaCO<sub>3</sub>. Pješčenjaci su određeni kao litoareniti (Šimunić i dr., 1981).

Prema Šimunić (1992) panonske naslage se s obzirom na litološki sastav i fosilni sadržaj mogu podijeliti na dva dijela. Donjem dijelu pripadaju slatkovodni sedimenti, predstavljeni bijelim laporovitim vapnencima i vapnovitim laporima, poznati kao *croatica naslage*, a gornjem brakični sedimenti predstavljeni sivožutim debelouslojenim laporima poznatim pod nazivom *banatica naslage*, a ponegdje se sreću i umetnuti proslojci pijeska, pješčenjaka, šljunaka i konglomerata. Sjeverno od Kalnika debljina gornjopanonskih naslaga je 600-700 m, u prostoru između Ivanščice i Medvednice izmjerene su debljine od 300-600 m.

**Pont (M<sub>7</sub>)** je zastupljen laporima, pjeskovitim laporima, pijescima i pješčenjacima.

Tijekom ponta nastavlja se sedimentacija u kaspibrakičnoj sredini. Prema fosilnom sadržaju ove naslage se dijele u donji pont ili *abichi naslage* i gorni pont ili *rhomboidea naslage*.

Sedimenti donjeg pontu slijede kontinuirano i konkordantno na gornjem panonu, taloženi su u kaspibrakičnoj sredini. Plavičastosivi, žućkastosivi i dijelom uslojeni lapori sadrže do 50% CaCO<sub>3</sub>. U višim dijelovima donjeg pontu nalaze se dobro uslojeni pjeskoviti lapori, i slabo vezani siltiti s proslojcima pijesaka i pješčenjaka žućkastosive, sive i

smečkaste boje. Koncentracija listićavih minerala je tipična za ove lapore. Procijenjena debljina naslaga donjeg pontaa je 200-400 m.

Kontinuirana zona naslaga gornjeg pontaa pruža se od Stražnjeveca preko Cerja do Črešnjeva na području sjeverno od Ivanščice. U litološkom sastavu dominiraju rastresiti sedimenti, žučkaste, sive, smeđaste boje, a još su zastupljeni pješćenjaci, lapori, glina i šljunci. Pijesci su dominantni, rjeđe su zastupljeni šljunkoviti pijesci te pjeskoviti siltovi u granulometrijskom sastavu. Pješćenjaci su određeni kao sublitoareniti, sadrže 20-35% CaCO<sub>3</sub>. Žučkastosivi i zelenkastosivi lapori sadrže 15-45% CaCO<sub>3</sub> (Šimunić, 1992).

**Pliocen-Kvartar (Pl, Q)** je zastupljen šljuncima i pijescima.

Na sjevernim padinama Ivanščice, u dolini Lonje i Lepoglavskoj sinklinali otkrivene su naslage pliocen-kvartara. Na starije naslage su diskordantno taloženi klastični, fluvio-jezerski sedimenti molasnog tipa. Naslage su izgrađene većinom od pijeska te šljunaka katkad rijetko s lećama i proslojcima glina. Boja pijesaka i pjeskovitih siltova je siva, bijela, smeđa i crvena. Šljunci su pretežito nesortirani, sastoje od nezaobljenih do subzaobljenih valutica, koje su izgrađene najviše od kvarca i rošnjaka. Debljina naslaga je do najviše 50 m (Šimunić, 1992).

**Q - Kvartar** čine aluvijalni sedimenti rijeka Krapine, Črnc, Lonje, Bednje, Voće, Plitvice i ostalih većih potoka.

Sastoje se od siltnog pijeska, pjeskovitog silta, glinovitog silta, rjeđe sitnozrnato šljunka. Silt je glavni sastojak aluvijalnih sedimenata, pijeska ima 14-42%, a glina 5-20%. Aluvijalni sitnozrnati šljunci su nastali trošenjem mezozojskih i tercijarnih naslaga, pretaložavanjem pliokvartarnih naslaga, sastoje se od nezaobljenih do dobro zaobljenih valutica koje su slabo sortirane (Šimunić, 1992).

### 3.2 Hidrogeološke značajke istraživanog područja

U Republici Hrvatskoj razlikujemo dva različita dijela kojim otječe voda, tj. dva različita sliva, Crnomorski i Jadranski sliv. Rijeka Horvatska se nalazi u sjeverozapadnom dijelu države i pripada Crnomorskom slivu. U Crnomorskom slivu dominiraju tri velike rijeke: Sava, Drava i Dunav s više manjih podslivova. Slivna područja na teritoriju Republike Hrvatske određena su temeljem *Pravilnika o granicama područja podslivova, malih slivova i sektora* (Narodne novine, brojevi 97/10 i 13/13), prema čemu je područje rijeke Horvatske smješteno u Vodnom području rijeke Dunav, područje podsliva rijeke Save, u sektoru C u području malog sliva „Krapina – Sutla“ koje obuhvaća Krapinsko – zagorsku županiju u cijelosti.

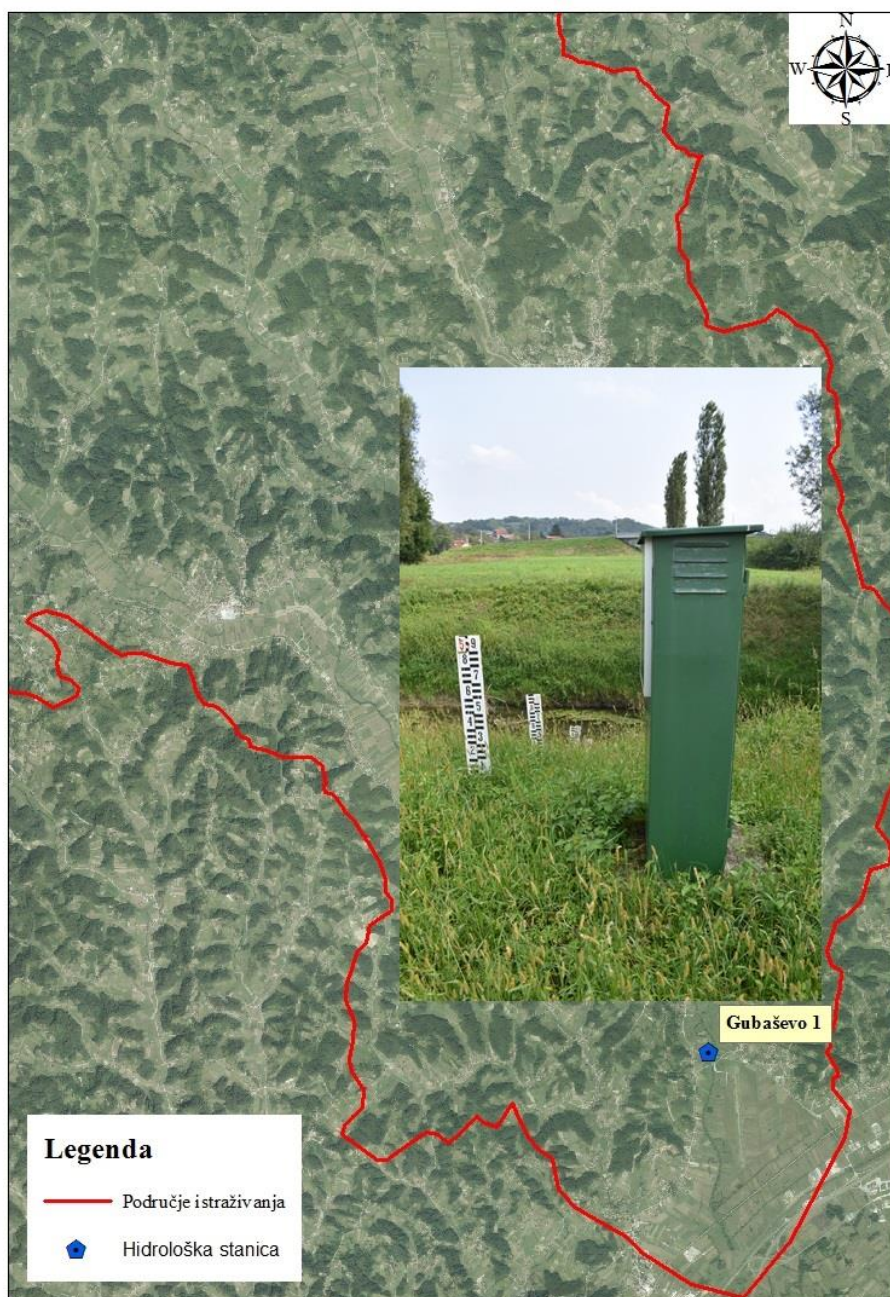
S obzirom na hidrogeološke značajke Hrvatskog zagorja, razlikuju se: temeljna gorja, tercijarni sedimentni kompleks i zone kvartarnih naslaga. Ivanščica, Strahinjčica, Maceljska gora i Medvednica pripadaju temeljnom gorju koji su odlikuje sekundarnom poroznošću. Izgrađene su od mezozojskih stijena te se podzemna voda nalazi na različitim dubinama. Najveća akumulacija podzemne vode postoji u karbonatnom masivu Ivanščice, dok se u ostalim masivima javlja veći broj manjih izora. Tercijarni sedimentni kompleks predstavljaju brežuljkasta pobrđa sa stijenama primarne poroznosti koji nemaju značajnu akumulaciju podzemne vode. U dolinama rijeka javljaju se kvartarne naslage koje akumuliraju znatne količine podzemne vode, no zbog male debljine i direktne veze s površinom, vodonosnici su podložni onečišćenju.

Kako Rijeka Horvatska pripada slivu “Krapina – Sutla” ona čini desnoobalni pritok rijeke Krapine koja drenira vodu iz Kostel Gore, Kuna Gore i Vinagore.

Protok predstavlja količinu vode koja prođe poprečnim profilom vodotoka u jedinici vremena ( $m^3/s$ ). Količina protoka vode prikazuje se hidrogramom. Hidrogram može biti koristan za procjenu količine vode koja prihranjuje podzemlje, tj. stanje zaliha podzemne vode. *Gubaševo I* je hidrološka stanica koja se nalazi na rijeci Horvatskoj u mjestu Jezero Klanječko koje je 4 kilometara udaljeno od grada Zaboka (Tablica 3-2). Stanica mjeri od 1980. godine pa sve do danas (Slika 3.2).

**Tablica 3-1** Koordinatni položaj hidrološke stanice Gubaševo 1

Naziv stanice	HTRS 96 / TM (16° 30')	
	x(m)	y(m)
Gubaševo 1	450108,50	5098024,98



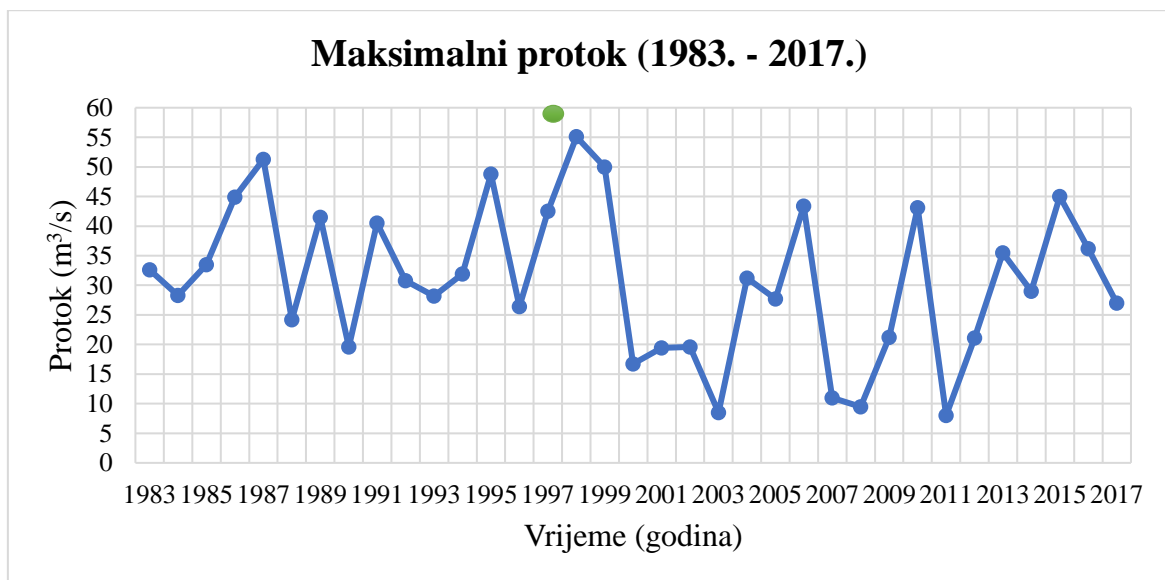
**Slika 3.2** Položaj i izgled hidrološke stanice Gubaševo 1

**Tablica 3-2** Prikaz maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka u razdoblju od 1983. do 2017. godine

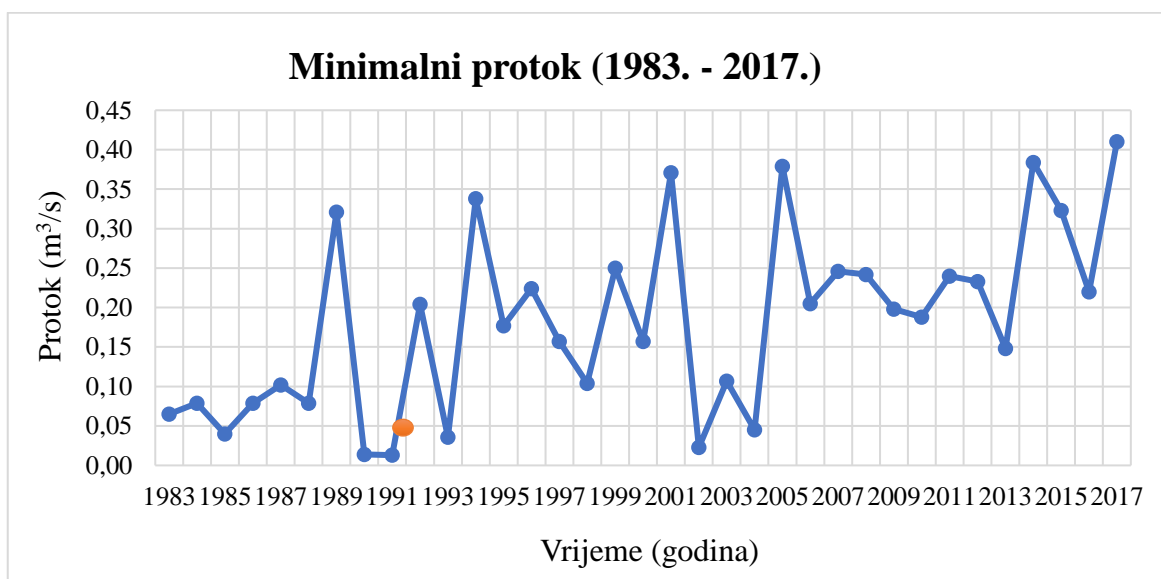
<b>Godina</b>	<b>Maksimalni protok</b>	<b>Minimalni protok</b>
1983	32,60	0,065
1984	28,30	0,079
1985	33,50	0,04
1986	44,90	0,079
1987	51,30	0,102
1988	24,20	0,079
1989	41,50	0,321
1990	19,60	0,014
1991	40,50	0,013
1992	30,80	0,204
1993	28,20	0,036
1994	31,90	0,338
1995	48,80	0,177
1996	26,40	0,224
1997	42,50	0,157
1998	55,10	0,104
1999	50,00	0,250
2000	16,70	0,157
2001	19,40	0,371
2002	19,60	0,023
2003	8,52	0,107
2004	31,20	0,045
2005	27,70	0,379
2006	43,40	0,205
2007	11,00	0,246
2008	9,50	0,242
2009	21,20	0,198
2010	43,10	0,188
2011	8,01	0,240
2012	21,10	0,233
2013	35,50	0,148
2014	29,00	0,384
2015	45,00	0,323
2016	36,20	0,220
2017	27,00	0,410
<b>Sred</b>	<b>30,95</b>	<b>0,183</b>

Podaci koji su dobiveni od strane Hidrometeorološkog zavoda prikazuju dnevna mjerenja. Sortiranjem podataka dobiveni su mjesečni pa kasnije godišnji minimalni i maksimalni protoci (Tablica 3-2). U razdoblju od 1980. do 2017. godine srednja vrijednost maksimalnih protoka iznosila je  $30,95 \text{ m}^3/\text{s}$ , a srednja vrijednost minimalnih protoka  $0,183 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Najveći protok iznosio je  $55,10 \text{ m}^3/\text{s}$  i bio je 06. studenoga 1998. godine (Slika 3.3), dok je najmanji protok bio 11. rujna 1991. godine u iznosu od  $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$  (Slika 3.4).



**Slika 3.3** Hidrogram maksimalnih protoka u razdoblju od 1980. do 2017. godine



**Slika 3.4** Hidrogram minimalnih protoka u razdoblju od 1980. do 2017. godine

## 4. Velike vode

Pod pojmom *velike vode* podrazumijevaju se pojave koje se očituju kao naglo izdizanje vodostaja ili protoka tijekom vremena. Oblici i volumeni velikih vodnih valova također su vrlo važni hidrološki pokazatelji, a izravno su povezani s maksimalnim vodostajima i protocima.

Uzroci javljanja velikih voda su jake kiše, topljenje snijega, no mogu biti i uzrokovane iznimnim događajima kao što je odron zemlje u umjetna ili prirodna jezera, rušenje brana ili nasipa, nepravilno rukovanje evakuacijskim uređajima, itd. Raspored i veličina velikih voda ovise i o sezonama sušnog i vodnog razdoblja unutar godine. Na primjer, ljeti se velike vode javljaju pretežno u obliku pljuskova jakih intenziteta, dok je za zimu karakteristično zadržavanje oborina u obliku snježnog pokrivača. Porastom temperature dolazi do topljenja snijega te ovisno o njegovoj količini i intenzitetu topljenja, dolazi do povećanja otjecanja.

S geološke strane, za pojavu velikih voda pogoduje nepropusna podina. Topografija utječe tako da što je veći koeficijent koncentriranosti sliva i veliki nagib, veća je vjerojatnost pojava velikih voda. Zbog slabe obraslosti sliva nema toliko velike transpiracije te je veći rizik od pojave već spomenutih velikih voda.

Pojava velikih voda razmatra se isključivo kao hidrološka pojava koja je uzrokovana oborinama palim na sliv te uvjetima tečenja ili slijevanja sa sliva. Postoji nekoliko osnovnih pristupa:

- 1) usvajanje jedne najveće zabilježene velike vode ili nekoliko njih,
- 2) određivanje velikih voda različitih reda pojeve metodama matematičke statistike na osnovi niza opaženih velikih voda,
- 3) određivanje velikih voda iz oborina na osnovi zajedničkih meteoroloških i hidroloških motrenja,
- 4) upotreba različitih iskustvenih/empirijskih metoda.

Prijelaz između običnog visokog vodostaja i vodostaja velike vode nije jasno određen. Velike vode prema veličini se dijele na obične, srednje i izvanredne. Izvanredne velike vode su katastrofalne, dok se najčešće pojavljuju obične velike vode.

Velike vode definirane su maksimalnim protocima i hidrogramima velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja. Postoji nekoliko pristupa pri određivanju velikih voda, a u ovom diplomskom radu one su određene upotrebom različitih iskustvenih/empirijskih formula (Žugaj, 2015).

#### **4.1 Empirijske metode za maksimalne godišnje protoke različitih povratnih razdoblja**

Iskustvene ili empirijske formule su one koje izražavaju maksimum protoka kao funkcije veličine sliva i drugih čimbenika bitnih za otjecanje. Pomoću empirijskih formula možemo računati:

- a) maksimalni protok,
- b) prosječni protok,
- c) pronos lebdećeg (suspendiranog) nanosa.

U ovome radu nisu provedene sve iskustvene formule, već samo neke od njih, a to su:

- 1) Srebrenovićeve formula,
- 2) Racionalna formula,
- 3) Metoda V. T. Chowa.



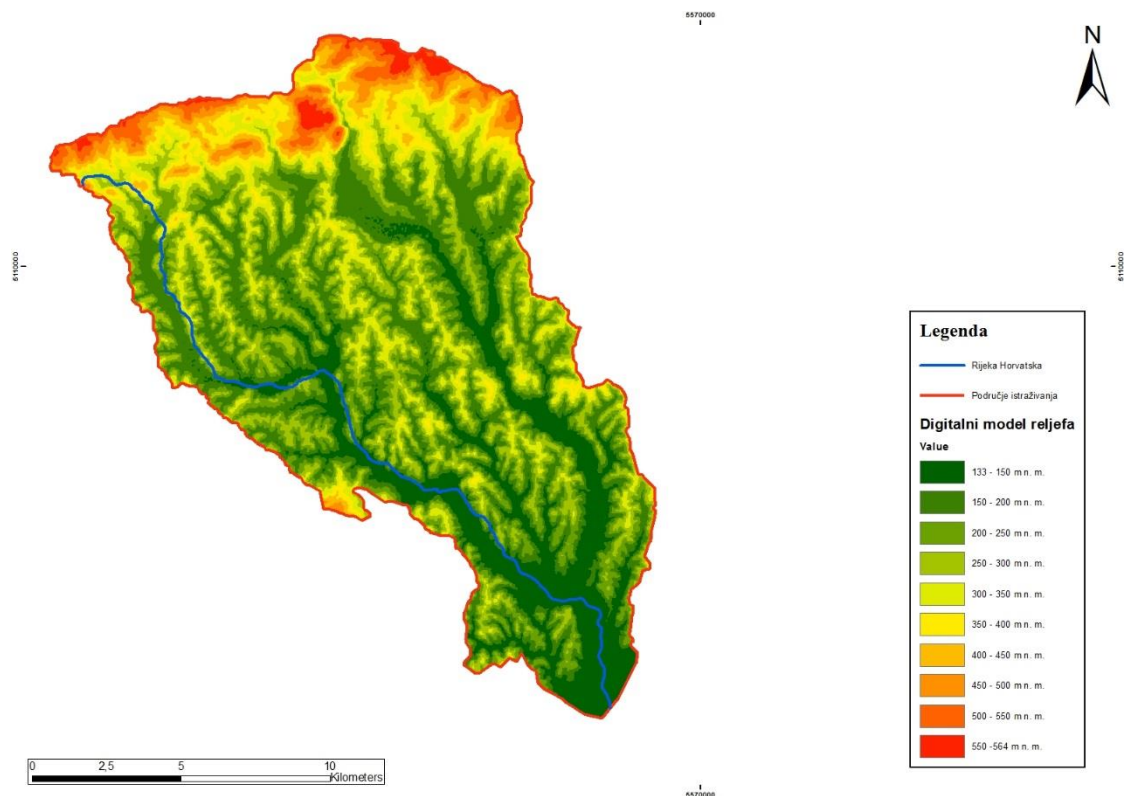
#### 4.1.1 Srebrenovićeva formula

Ova formula izvedena je na temelju racionalne metode, a pri određivanju koeficijenata u formuli korišteni su podaci sa slivnog područja Save. Zbog dobro određenih odnosa između karakterističnih parametara o kojima ovisi otjecanje velikih voda, preporučljiva je za praktičnu primjenu (Žugaj, 2015). Podaci korišteni u metodi prikazani su u tablici 4-1.

**Tablica 4-1** Podaci korišteni u Srebrenovićevoj metodi

Faktor ovisan o propusnosti i pošumljenosti	$\beta$ (/)	2,00
Količina prosječnih godišnjih oborina	P (m)	0,97
Koeficijent koncentriranosti sliva	K (km)	0,54
Dulja stranica pravokutnika	L (km)	25,12
Kraća stranica pravokutnika	l (km)	7,56
Nagib sliva	S (m/km)	5,25
Vrijeme tečenja duž vodotoka	$\tau_2$ (sati)	9,19
Opseg sliva	O (km)	81,27
Udaljenost težišta sliva od protjecajnog profila	U (km)	10,62
Površina	A (km <sup>2</sup> )	232,29
Najviša nadmorska visina sliva	H <sub>max</sub> (m n. m.)	564,00
Najniža nadmorska visina sliva	H <sub>min</sub> (m n. m.)	133,00
Razlika najviše i najniže nadmorske visine	$\Delta H$ (m n. m.)	431,00
Srednja nadmorska visina sliva	H <sub>sred</sub> (m n. m.)	222,87

*Srednja nadmorska visina sliva ( $H_{sr}$ )* je vodoravna crta koja siječe hipsometrijsku krivulju tako da su površine iznad i ispod hipsometrijske krivulje i te crte jednake. Hipsometrijska krivulja pokazuje koji je dio područja riječnog sliva smješten do razmatranog riječnog profila (Žugaj, 2015). U Tablici 4-2 prikazani su podaci korišteni kako bismo dobili navedenu krivulju.

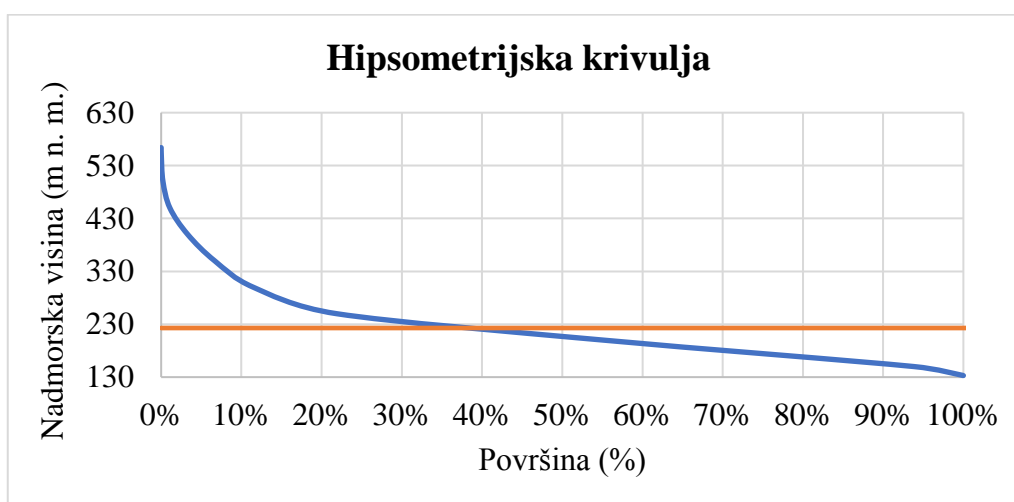


**Slika 4.1** Prikaz Digitalnog modela reljefa sliva rijeke Horvatske

Hipsometrijska krivulja rađena je pomoću Digitalnog modela reljefa (Slika 4.1) u softveru Arc Map pomoću određenih alata kojima su dobivene površine zadanih poligona (Slika 4.2).

**Tablica 4-2** Tablični prikaz podataka potrebnih za hipsometrijsku krivulju

Ukupan broj poligona	Područje izohipsa	H <sub>i</sub> (m n.m.)	A <sub>i</sub> (km <sup>2</sup> )	Površina slivova A <sub>i</sub> /A (%)	Kumulativna površina sliva (%)
10	550-564	557	0,042	0,02%	<b>0,02%</b>
9	500-550	525	0,473	0,20%	0,22%
8	450-500	475	2,01	0,86%	1,08%
7	400-450	425	5,14	2,21%	3,30%
6	350-400	375	7,83	3,37%	6,67%
5	300-350	325	11,2	4,82%	11,48%
4	250-300	275	24,1	10,37%	21,85%
3	200-250	225	77,4	33,29%	55,14%
2	150-200	175	89,9	38,70%	93,85%
1	133-150	141,5	14,1	6,08%	100,00%
			<b>232,23</b>	<b>100,00%</b>	



**Slika 4.2** Hipsometrijska krivulja na slivu rijeke Horvatske

Za izračun srednje nadmorske visine ovog sliva korištena je metoda hipsometrijske krivulje prema formuli:

$$H_{sr} = \frac{\sum H_i \cdot A_i}{A} \text{ (m n. m. )} \quad (4-5)$$

gdje je  $H_i$  (m n.m.) srednja nadmorska visina između dviju slojnica na slivu,  $A_i$  ( $\text{km}^2$ ) površina između dviju slojnica na slivu te  $A$  ( $\text{km}^2$ ) veličina sliva.

*Srednja nadmorska visina sliva iznosi:*  $H_{sr} = 222,87$  m n.m.

$\Delta H$  je razlika između srednje nadmorske visine sliva  $H_0$  koja se određuje iz hipsometrijske krivulje i kote protjecajnog profila  $H$ :

$$\Delta H = H_0 - H \text{ (m)} \quad (4-6)$$

Maksimalni protoci različitih povratnih razdoblja definirani su izrazom (Srebrenović, D., 1970.):

$$Q_{Mp} = 0,48 \frac{\alpha}{(\beta\omega)^{3/4}} A^{0,96} \Psi_p S^{1/3} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (4-1)$$

gdje je:  $A$  ( $\text{km}^2$ ) veličina sliva,  $\alpha$  je otjecajni koeficijent koji se za prosječne godišnje oborine  $1000 < P < 2000$  mm može odrediti prema formuli (Tablica 4-3, stupac 1.):

$$\alpha = 0,8[1 + 0,075(\log p - \beta)] \quad (4-2)$$

gdje je:  $p$  (god) povratno razdoblje,  $\beta$  je faktor ovisan o propusnosti, pošumljenosti i sl. a njegove se vrijednosti kreću u rasponu 1-3. Za slabo propusna i slabo obrasla tla ovaj koeficijent je bliže jedinici, a za propusna i obrasla tla teži prema vrijednosti 3. U razmatranom slučaju koeficijent  $\beta$  iznosi 2 (Žugaj, 2015).

Veličina  $\Psi_p$  definirana je izrazom (Tablica 4-3, stupac 3.):

$$\Psi_p = [P(1 + 1,5 \log p)]^{1,43} \quad (4-3)$$

gdje je: P (m) je količina prosječnih godišnjih oborina, S (m/km) je nagib sliva određen izrazom:

$$S = \frac{2 \Delta H}{L} \text{ (m/km)} \quad (4-4)$$

L (km) je dulja stranica zamjenjujućega pravokutnika, čija je površina jednaka površini sliva:

$$L = \sqrt{\frac{A(2 - K)}{K}} \text{ (km)} \quad (4-7)$$

Kraća stranica zamjenjujućega pravokutnika l iznosi:

$$l = \sqrt{\frac{AK}{2 - K}} \text{ (km)} \quad (4-8)$$

K je koeficijent koncentriranosti sliva definiran izrazom:

$$K = \frac{2A}{OU} \quad (4-9)$$

O (km) je opseg sliva, a U (km) je udaljenost težišta sliva od protjecajnog profila izračunatim u Arc Mapu na sllivu rijeke Horvatske (Slika 4.3).

$\omega$  je veličina određena izrazom (Tablica 4-3, stupac 5.)

$$\omega = 1 + \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (4-10)$$

$\tau_1$  je vrijeme površinskoga sabiranja (Tablica 4-3, stupac 4.):

$$\tau_1 = \frac{20 \beta}{[P(1 + 1,5 \log p)]^{0,57} S^{0,43}} \text{ (sati)} \quad (4-11)$$

$\tau_2$  je vrijeme tečenja duž površinskog vodotoka:

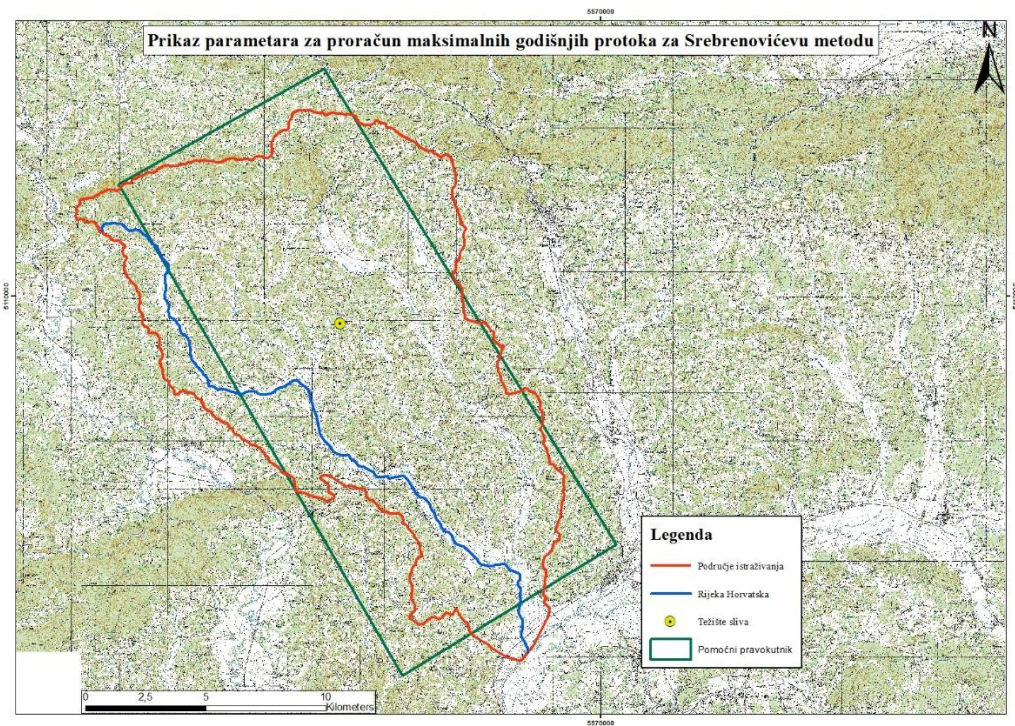
$$\tau_2 = 2,6 \left( \frac{A}{S} \right)^{1/3} = 2,6 \left( \frac{232,29}{5,25} \right)^{1/3} = 9,19 \text{ (sati)} \quad (4-12)$$

Prema tome vrijeme podizanja vodnog vala  $\tau$  (Tablica 4-3, stupac 8.) dano je izrazom (Žugaj, 2015):

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{20 \beta}{[P(1 + 1,5 \log p)]^{0,57} S^{0,43}} + 2,6 \left( \frac{A}{S} \right)^{1/3} \text{ (sati)} \quad (4-13)$$

**Tablica 4-3** *Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja za sliv rijeke Horvatske prema Srebrenovićevoj formuli*

Povratno razdoblje	$\alpha_p$	$\Psi_p$	$\tau_1$	$\omega_p$	$Q_{MP}$	$q_{MP}$	$\tau$
god	(/)	(/)	sati	(/)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	sati
2	0,70	1,65	16,12	1,57	<b>152,21</b>	0,655	25,32
10	0,74	3,60	11,83	1,78	<b>319,93</b>	1,377	21,02
25	0,76	4,89	10,47	1,88	<b>430,37</b>	1,853	19,66
50	0,78	5,94	9,69	1,95	<b>520,54</b>	2,241	18,88
100	0,80	7,04	9,05	2,02	<b>616,23</b>	2,653	18,24
500	0,84	9,83	7,92	2,16	<b>859,03</b>	3,698	17,12



**Slika 4.3** Grafički prikaz parametara za proračun godišnjih protoka za Srebrenovićevu metodu

#### 4.1.2 Racionalna metoda

*Racionalna metoda* je formula za izračunavanje maksimalnih protoka s malih slivova  $Q_M$  kao umnoška slivne površine  $A$  ( $\text{km}^2$ ), maksimalnog kišnog intenziteta  $i$  i racionalnog koeficijenta  $C$ . Neki podaci preuzeti su iz V. T. Chow metode te su prikazani naznačeni u tablici 4-4, dok su rezultati dobiveni metodom prikazani u tablici 4-5.

Osnovna postavka racionalne metode jest da za vrijeme olujnih oborina jednolika intenziteta  $i$  jednolike raspodjele na slivu dolazi do maksimalna protoka vodnog vala u trenutku kada cijela površina sliva sudjeluje u postanku hidrograma (Žugaj, 2015).

**Tablica 4-4** Podaci korišteni u V. T. Chow metodi

Vrijednost racionalnog koeficijenta	$C_p$ (/)	TABLICA br. 5.29 (Žugaj, 2015.)
Brzina vode u vodotoku	$v_p$ (m/s)	V. T. Chow
Trajanje kiše	$t_k$ (min)	V. T. Chow
Površina	$A$ ( $\text{km}^2$ )	30,97

Racionalna formula definirana je općim izrazom:

$$Q_{Mp} = C i A \quad (4-14)$$

gdje je:  $Q_{MP}$  maksimalni (vršni) protok,  $C$  racionalni koeficijent,  $i$  intenzitet kiše, te  $A$  površina sliva. Ako se uzmu jedinice  $Q_{Mp}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $i$  ( $\text{mm}/\text{min}$ ) i  $A$  ( $\text{km}^2$ ), onda racionalna formula ima oblik :

$$Q_{Mp} = 16,67 \cdot i_p \cdot C_p \cdot A \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (4-15)$$

gdje je:  $i_p$  intenzitet kiše ovisan o povratnom razdoblju, a  $C_p$  je vrijednost racionalnog koeficijenta u ovisnosti od povratnih razdoblja  $p$  očitanih iz tablice prema V. T. Chowu i dr. (1988.).



**Tablica 4-5** *Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja za sliv rijeke  
Horvatske prema racionalnoj metodi*

Povratno razdoblje	$C_p$	$v_p$	$t_k$	$i_p$	$Q_{MP}$	$q_{MP}$
god	(/)	m/s	min	mm/min	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
2	0,35	2,10	246,1	0,173	<b>31,2</b>	1,008
10	0,41	2,93	176,0	0,216	<b>45,6</b>	1,474
25	0,45	3,41	151,5	0,238	<b>55,3</b>	1,786
50	0,48	3,77	137,0	0,255	<b>63,1</b>	2,036
100	0,52	4,13	125,1	0,270	<b>72,6</b>	2,343
500	0,58	4,96	104,0	0,305	<b>91,5</b>	2,953

### 4.1.3 Metoda V. T. Chow

Ova metoda je vrlo pogodna za izračunavanje otjecanja, a njezina glavna značajka je da se može koristiti za izračune maksimalnih protoka s malih slivova u velikom rasponu nagiba slivova  $S = 0,1 - 30\%$ . Podaci koji su korišteni u metodi nalaze se u Tablici 4-6 te grafički prikazani na slici 4.4, dok su rezultati prikazani u Tablici 4-7.

**Tablica 4-6** Podaci korišteni u metodi V. T. Chow

Najviša nadmorska visina sliva	$H_{\max}$ (m n. m.)	564,00
Najniža nadmorska visina sliva	$H_{\min}$ (m n. m.)	133,00
Razlika najviše i najniže nadmorske visine	$\Delta H$ (m n. m.)	431,00
Srednja nadmorska visina sliva	$H_{\text{sred}}$ (m n. m.)	222,87
Razlika srednje i najniže nadmorske visine	$\Delta H$ (m n. m.)	89,87
Nagib vodotoka	$I_{\max}$ (km)	13,92
Nagib sliva	$S$ (%)	1,39
Udaljenost težišta sliva od protjecajnog profila	$U$ (km)	10,62
Površina sliva	$A$ (km <sup>2</sup> )	232,29
Duljina glavnog vodotoka	$L$ (m)	30970,00
Koeficijent ovisan o značajkama sliva	$C$ (/)	0,49
CN	TABLICA 5.37 (Žugaj, 2015.)	85
Vrijeme zakašnjenja	$t_p$ (sati)	722,16
Klimatski faktor	$Y$ (/)	1,00

Prema metodi V. T. Chowa maksimalni protoci različitih povratnih razdoblja dobiveni su iz izraza (Tablica 4-7, stupac 9.):

$$Q_{Mp} = 16,67 \cdot A \cdot i_{ep} \cdot Y \cdot Z \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (4-16)$$

gdje je: 16,67 konstanta za preračunavanje, ako je mjerodavni intenzitet efektivne kiše povratnoga razdoblja  $i_{ep}$  u (mm/min),  $A$  (km<sup>2</sup>) je veličina sliva do protjecajnog profila,  $Y$  klimatski faktor (za područja na kojima nisu bile provedene regionalne analize oborina obično se može usvojiti  $Y = 1,0$ ), a  $Z$  je faktor redukcije vrha hidrograma koji se dobiva iz izraza (Tablica 4-7, stupac 8.):

$$Z = -0,00303 + 0,84902 \frac{t_k}{t_p} - 0,17747 \left( \frac{t_k}{t_p} \right)^2 \quad (4-17)$$

gdje je:  $t_k$  (min) trajanje oborine, a  $t_p$  (min) vrijeme zakašnjenja.

Važno je napomenuti da ova formula vrijedi do  $\frac{t_k}{t_p} = 2,13$ , a za  $\frac{t_k}{t_p} > 2,13$  usvaja se  $Z = 1,0$ .

Uzimamo da je  $t_k = t_c$ , a  $t_c$  dobivamo iz izraza (Tablica 4-7, stupac 3.):

$$t_k = \frac{L}{v_p} \text{ (min)} \quad (4-18)$$

gdje je:  $L$  (m) duljina glavnog vodotoka od razvodnice do izlaznog profila sliva, a  $v_p$  je brzina vode u vodotoku dobivena izrazom (Tablica 4-7, stupac 2.):

$$v_p = (1,60 + 1,10 \log p)^4 \sqrt{S} \text{ (m/s)} \quad (4-19)$$

gdje je  $p$  (god) povratno razdoblje, a  $S$  je nagib vodotoka prema izrazu:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \text{ (\%)} \quad (4-20)$$

gdje je:  $\Delta H$  koji je razlika između kote točke na razvodnici od koje počinje glavni vodotok i kote na kojoj se nalazi protjecajni profil;  $L$  (m) duljina glavnog vodotoka.

Vrijeme zakašnjenja sliva  $t_p$  određeno je izrazom:

$$t_p = C \left( \frac{L U}{\sqrt{S}} \right)^{0,38} \text{ (sati)} \quad (4-21)$$

gdje je:  $C$  koeficijent čija vrijednost ovisi o veličini i značajkama sliva (brdski, ravničarski) i u našem slučaju on iznosi 0,49;  $L$  (km) duljina sliva (udaljenost od protjecajnog profila do razvodnice mjereno po glavnom vodotoku);  $U$  (km) je udaljenost od protjecajnog profila do težišta sliva i  $S$  (%) je nagib vodotoka.

Intenzitet efektivne kiše različitih povratnih razdoblja  $i_{ep}$  definiran je izrazom (Tablica 4-7, stupac 6.):

$$i_{ep} = \frac{P_e}{t_k} \text{ (mm/min)} \quad (4-22)$$

gdje je:  $P_{ep}$  (mm) efektivna kiša  $p$ -toga povratnog razdoblja, koja je otekla s razmatranoga sliva, a  $t_k$  (min) trajanje kiše.

Za određivanje efektivne kiše  $P_{ep}$  vrlo je prikladan pristup korištenje SCS (Soil Conversation Service) metode odnosno brojeva krivulja CN. Za male slivove, s razmjerno kratkim vremenima koncentracije od pola do jednog sata, veličina efektivne oborine može

se, kod po svojim brojevima razmjerno bliskih krivulja CN, značajno razlikovati. Prema tome primjena ove metode vrlo je osjetljiva na CN krivulje, te vrijednost te krivulje ima najveći utjecaj na veličinu maksimalnog protoka  $Q_{Mp}$ . Za područje istraživanja, sliv rijeke Horvatske, a na temelju vlažnosti tla određena je vrijednost za krivulju CN = 85.

Efektivna oborina  $P_e$  određena je u ovisnosti od bruto oborine  $P_p$  i broja krivulje CN, prema SCS metodi, prema sljedećem izrazu (Tablica 4-7, stupac 5.):

$$P_e = \frac{\left[ P - 0,2 \cdot \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \right]^2}{P + 0,8 \cdot \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right)} \text{ (mm)} \quad (4-23)$$

Koeficijent otjecanja  $c$  određen je prema izrazu (Tablica 4-7, stupac 11.):

$$c = \frac{P_e}{P} \quad (4-24)$$

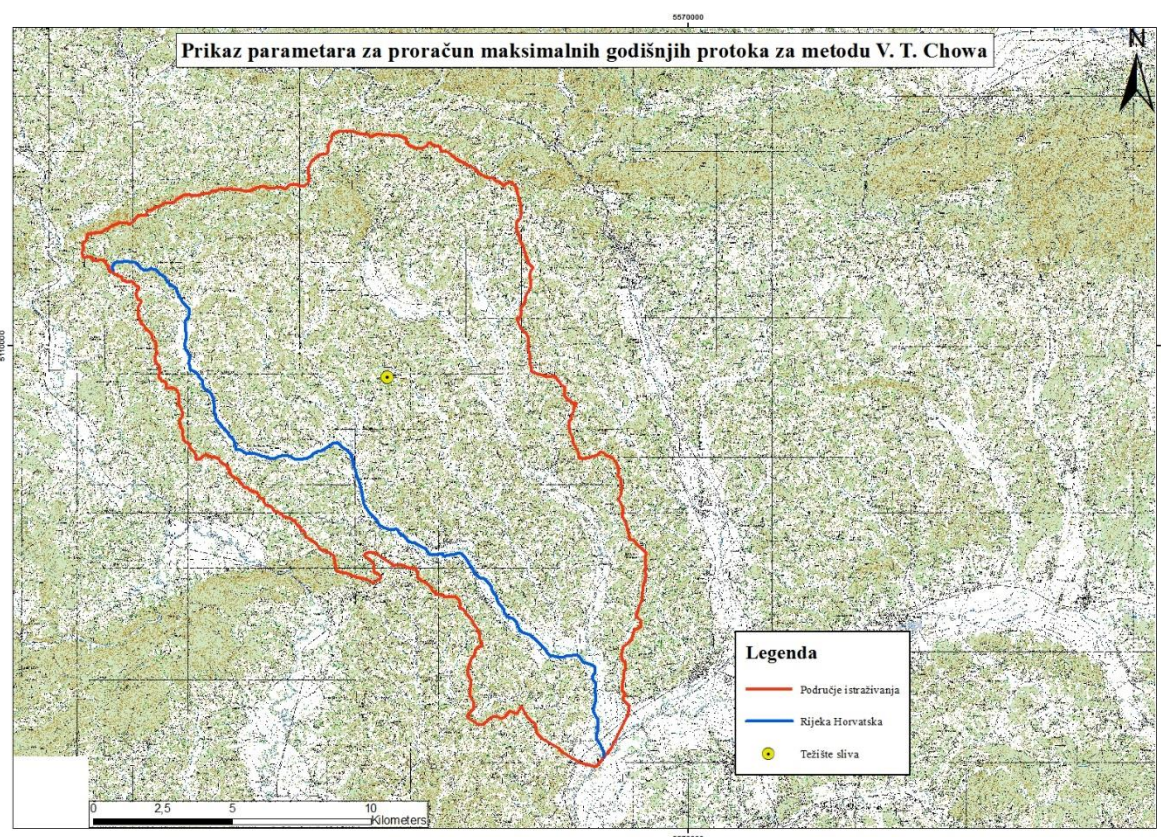
Specifični protoci definirani su odnosom maksimalnih protoka i ukupne površine sliva (Tablica 4-7, stupac 10.):

$$q_{Mp} = \frac{Q_{Mp}}{A} \text{ (m}^3\text{/s/km}^2\text{)} \quad (4-25)$$

gdje je:  $Q_{MP}$  ( $m^3/s$ ) maksimalni godišnji protok različitih povratnih razdoblja;  $A$  ( $km^2$ ) površina sliva.

**Tablica 4-7** *Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja za sliv rijeke Horvatske prema V. T. Chow metodi*

Povratno razdoblje	$v_p$	$t_k$	P	$P_e$	$i_e$	$t_k/t_p$	Z	$Q_{MP}$	$q_{MP}$	$c=P_e/P$
god	m/s	min	mm	mm	mm/min	(/)	(/)	$m^3/s$	$m^3/s/km^2$	(/)
2	2,10	246,1	43	14	0,058	0,985	0,66	<b>2,49</b>	0,011	0,34
10	2,93	176,0	38	11	0,065	0,705	0,51	<b>2,12</b>	0,009	0,30
25	3,41	151,5	36	10	0,067	0,606	0,45	<b>1,94</b>	0,008	0,28
50	3,77	137,0	35	9	0,069	0,548	0,41	<b>1,83</b>	0,008	0,27
100	4,13	125,1	34	9	0,071	0,501	0,38	<b>1,73</b>	0,007	0,26
500	4,96	104,0	32	8	0,074	0,416	0,32	<b>1,53</b>	0,007	0,24



**Slika 4.4** *Grafički prikaz parametara za proračun maksimalnih godišnjih protoka za metodu V. T. Chowa*

## 5. Statističke metode

Opažane ili izmjerene hidrološke i meteorološke pojave skup su nepovezanih i suvislih veličina bez uporabe matematičke statistike. Njenom primjenom dobivaju se potrebni pokazatelji za definiranje režima tih pojava. Pojava meteoroloških i hidroloških veličina osniva se fizikalnim zakonitostima prirodnih pojava, tj. o mnoštvu geografsko – fizičkih čimbenika koji sudjeluju u formiranju konkretne pojave. Stoga nam, ti čimbenici u kvantitativnom smislu nisu ponekad teoretski poznati. Zbog toga se izmjereni pokazatelji meteoroloških i hidroloških pojava smatraju slučajnim veličinama.

*„U pravilu se smatra slučajem onaj događaj koji nastaje kao posljedica toliko mnogo uzroka, da nismo u mogućnosti točno izračunati kada i gdje će stanoviti događaj nastupiti.“ (Vranić, 1965.)*

Hidrološkom veličinom smatra se sve ono što se u hidrologiji može izmjeriti i izraziti brojem: vodostaji, protoci, dubine vode, mutnoća, pronos nanosa i drugo. Za istraživanje svojstava hidroloških veličina koje se odnose na raspodjele količine i kakvoće vode u vremenu i prostoru na raspolaganju su četiri tipa podataka:

- 1) povijesni podaci hidroloških procesa s pojedinih lokacija, tj. kontinuirane hidrološke vremenske serije,
- 2) podaci terenskih promatranja duž profila ili mjerenja hidroloških pojava na površini ili u prostoru,
- 3) laboratorijski ili terenski eksperimentalni podaci koji se odnose na hidrologiju,
- 4) simultana mjerenja dvije ili više slučajnih varijabli sa ciljem da se utvrdi veza između tih varijabli.

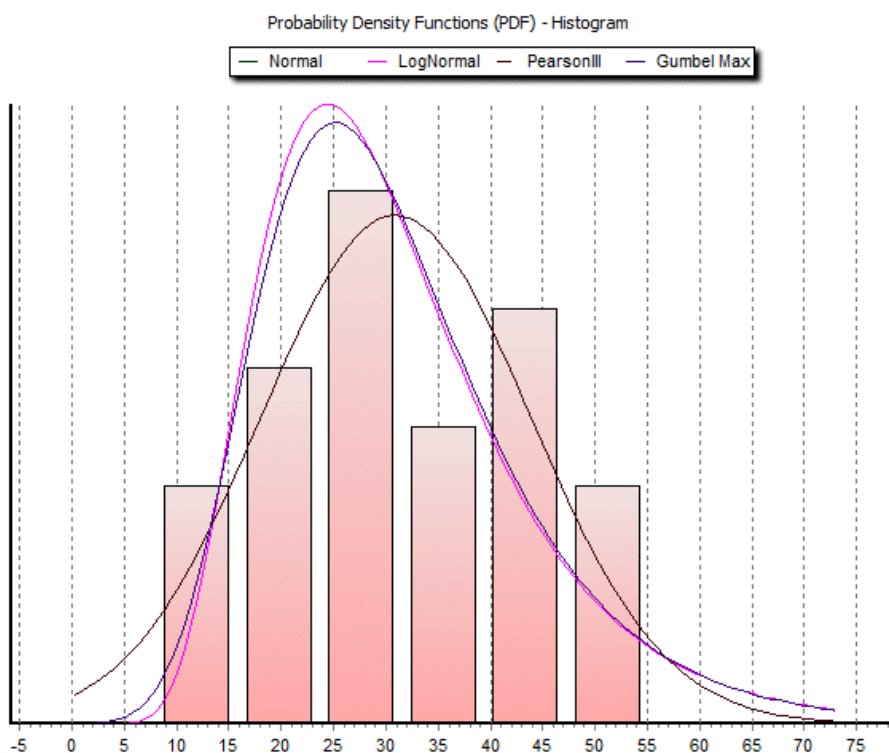
Za statističke metode potrebno je da se od prikupljenih podataka formira vremenski niz podataka koji predstavlja podatke poredane redosljedom kojim su bili opaženi ili izmjereni. Uz primjenu metoda matematičke statistike mogu se odrediti buduće velike vode različita reda pojavljivanja na temelju nizova maksimalnih vodostaja ili protoka. U ovom radu statističkim metodama određena je vjerojatnost mogućnosti pojava velikih voda za različita povratna razdoblja na temelju maksimalnih protoka sliva rijeke Horvatske. Podaci koji se koriste dobiveni su od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (Tablica 3-2).

Slijed podataka koji se koristi u primjeni metoda matematičke statistike mora zadovoljavati nekoliko uvjeta:

1. članovi niza su slučajne varijable,
2. članovi niza su međusobno neovisni,
3. niz mora biti homogen,
4. članovi niza moraju biti stacionarni,
5. niz mora biti dovoljno dug.

## 5.1 Statistička obrada podataka

Hydrognomon je softver koji je u ovom radu korišten za analizu i obradu hidroloških podataka. Grafički prikaz učestalosti i prekidne varijable u koordinatnom sustavu naziva se raspodjela učestalosti ili histogram. Njima se zapravo ilustrira zastupljenost pojedinih vrijednosti unutar raspona vrijednosti koje poprima pojedini promatrani karakteristični parametar. Histogram učestalosti je zapravo dijagram s pravokutnicima. Pravokutnici su postavljeni na apscisnoj gdje je njihova širina jednaka intervalu razreda, a visina predstavlja učestalost. Površina pravokutnika proporcionalna je učestalosti razreda (Slika 5.1).



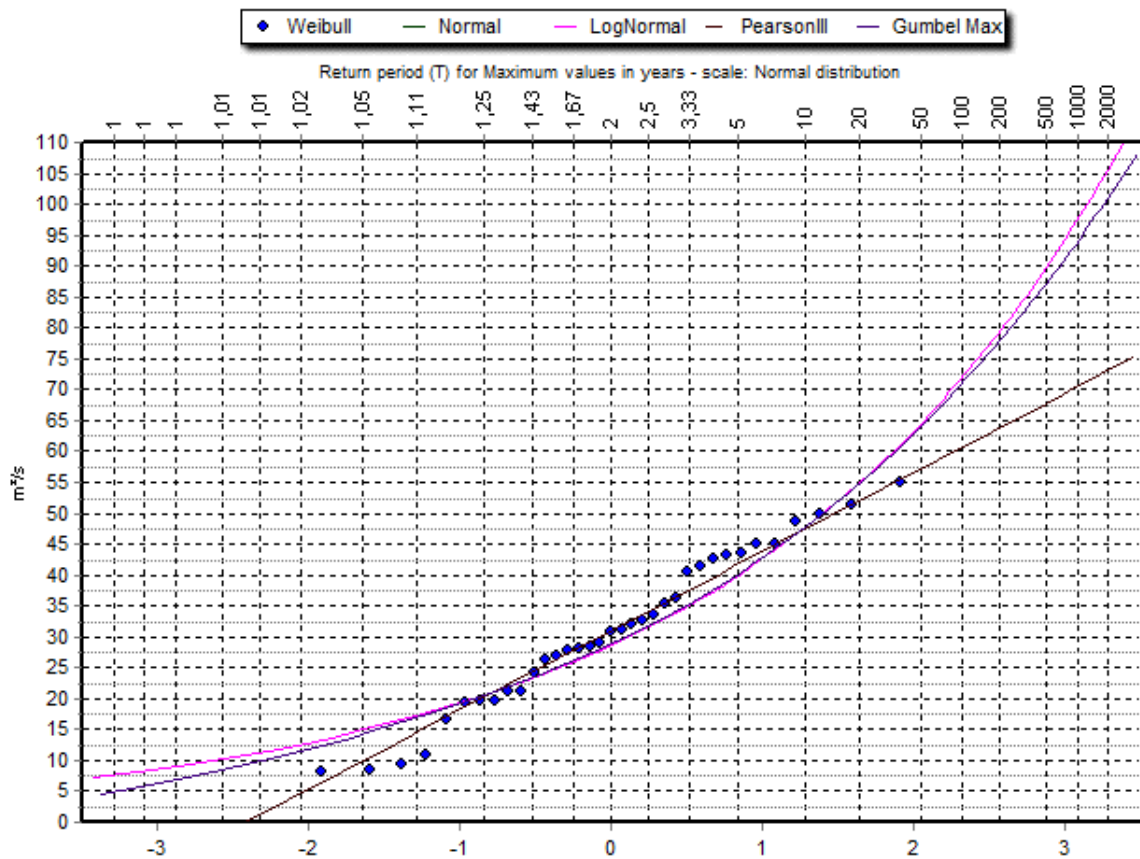
**Slika 5.1** Histogram maksimalnih godišnjih protoka rijeke Horvatske

Izračun velikih voda primjenom statističkih metoda predstavlja određivanje mjerodavne funkcije raspodjele na temelju ulaznih podataka, u ovome slučaju maksimalni godišnji protoci, dobivenih hidrološkim motrenjima i mjerenjima. Funkcija raspodjele je način na koji se učestalosti članova neke populacije raspodijeljene prema vrijednostima varijabli koje prikazuju. Krivuljom raspodjele naziva se grafički prikaz funkcije raspodjele. Na osnovi članova niza podataka poredanih po veličini, određenom teorijskom krivuljom raspodjele se definira krivulja trajanja. Velike vode određuju se na temelju ekstrapolacije krivulje raspodjele (Žugaj, 2015).

Između karakterističnih hidroloških parametara izdvajaju se koeficijent asimetrije i varijacije u određivanju karakteristika niza. Vrijednost koeficijenta asimetrije može biti pozitivan ili negativan. Za ovaj niz podataka vrijednosti koeficijenta asimetrije iznosi -0,04142 gdje se na temelju njegovih apsolutnih vrijednosti određuje asimetričnost. Ovaj iznos pripada skupini od  $0,00 < cs < 0,10$  kada nema asimetrije prema Vranić, 1965. Koeficijent varijacije definiran je kao bezdimenzionalan parametar koji može poslužiti za uspoređivanje različitih nizova jer isključuje utjecaj veličina srednjih vrijednosti. Za ovaj niz koeficijent varijacije iznosi -0,75612.

Nakon izračunatih osnovnih statističkih parametara, pristupa se izračunavanju maksimalnih godišnjih protoka različitih povratnih razdoblja prema odabranim krivuljama raspodjele. Za analizu raspodjele u hidrologiji se rabi veliki broj krivulja raspodjele, a u ovom radu koriste se Gaussova (normalna), Galtonova (logaritamsko-normalna), Gumbelova i Pearson 3. Izračun krivulja raspodjela opisan je na primjeru niza maksimalnih godišnjih protoka rijeke Horvatske iz razdoblja od 1983. do 2017. godine koji je prikazan na slici 5.2. Rezultati koji su dobiveni za određena povratna razdoblja prikazani su u Tablici 5.1.





Slika 5.2 Maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja rijeke Horvatske

Tablica 5-1 Rezultati maksimalnih protoka određenih povratnih razdoblja za rijeku Horvatsku

Povratna razdoblja	Gaussova krivulja	Galtonova raspodjela	Raspodjela Pearson 3	Gumbelova raspodjela
god	Q (m <sup>3</sup> /s)			
2	30,94	28,61	30,94	28,85
10	47,33	47,57	47,33	47,63
25	53,32	57,23	53,32	57,08
50	57,19	64,62	57,19	64,09
100	60,68	72,00	60,68	71,05
500	62,73	89,62	62,73	87,13

*Ukratko o krivuljama raspodjele:*

**Gaussova ili normalna krivulja** raspodjele je simetrična i dvoparametarska. Raspodjele meteoroloških i hidroloških veličina najčešće nisu simetrične, ali normalna je raspodjela, važan čimbenik korelacijske analize, procjene intervala povjerenja, generiranja hidroloških nizova, itd. Veze varijabli s normalnom raspodjelom su linearne i vrednuju se na temelju koeficijenta korelacije.

**Logaritamsko-normalna ili Galtonova raspodjela** je dvoparametarska. Njihove vrijednosti članova izražene su logaritmima. Postoji veza između Gaussove i Galtonove krivulje raspodjele gdje se nesimetrične raspodjele mogu normalizirati različitim transformacijama:  $y=x^a$  ili  $y=\ln x$ , odnosno transformacijom  $y=\log x$ .

**Raspodjela Pearson 3** (Abramowitz and Stegun, 1972) je jedna od 14 funkcija raspodjela u hidrologiji te je najčešće korištena. To je nesimetrična troparametarska raspodjela. U hidrologiji koristi se modificiran oblik raspodjele prema Foster – Ribkinu. Taj je oblik pogodan jer koristi samo osnovne parametre: aritmetičku sredinu, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije.

**Gumbelova** kao posljednje korištena u ovom radu predstavlja nesimetričnu i dvoparametarsku krivulju raspodjele (Žugaj, 2015).

## Kolmogorov test

Primjena Kolmogorovljeva testa ne ovisi o broju parametara raspodjele. Pretpostavlja se da su raspodjela članova niza i veličine parametara raspodjele poznate.

Mjera odstupanja  $D_N$  iskustvene raspodjele, odnosno raspodjele ulaznih izračunskih podataka, od teorijske raspodjele je najveća razlika između iskustvene  $f_N(x)$  i teorijske raspodjele  $F(x)$ .

$$D_N = \max |\varphi_N(x) - f(x)| \quad -\infty < x < +\infty \quad (5-1)$$

Za razinu povjerenja  $\alpha=0,05$  (5%) za različiti broj članova niza  $n$  dane su u tablici 5.2 kritične vrijednosti  $D_0$ . Testiranje se provodi na sljedeći način:

1. za rastući se niz računaju iskustvene vrijednosti  $\varphi_N(X_m)$ ,
2. za svaki  $x$  u rastućem nizu se izračuna vjerojatnosti  $F(x)$ ,
3. za svaki niz se odrede razlike  $|\varphi_N(x) - f(x)|$ ,
4. najveća razlika  $D_N = \max |\varphi_N(x) - f(x)|$  uspoređi se s kritičnom vrijednošću  $D_0$ , koja se uzme iz tablica u skladu s usvojenom razinom povjerenja.

**Tablica 5-2** Kritične vrijednosti  $D_0$  testa A. N. Kolmogorova za različite brojeve članova niza  $n$  kod razine povjerenja  $\alpha=0,05$  uobičajene u hidrologiji (prema Jovanović, S. 1981)

n	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	n > 50
$D_N$	0,56	0,41	0,34	0,29	0,27	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$

Na primjeru niza maksimalnih godišnjih protoka rijeke Horvatske na slici 5.3 prikazane su razlike kritičnih odstupanja  $D_{MAX}$ . Za Gaussovu raspodjelu  $D_N=7,8\%$ , za Galtonovu raspodjelu  $D_N=11,51\%$ , za Pearson 3  $D_N=7,8\%$  te za Gumbelovu raspodjelu  $D_N$  iznosi 11,18%.

Prema tablici 5-2 kritična vrijednost za niz od 35 člana  $D_0=0,23$ , odnosno 23%, pa po tom kriteriju sve 4 raspodjele zadovoljavaju. Najbolju prilagodbu ulaznih podataka imaju Gaussova i Pearson 3 raspodjela (Slika 5.3).

Distribution functions plots	Histogram - Density functions plots			Parameter values - Forecasts	
Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,8693%	0,07813
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,5421%	0,07201
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	69,2906%	0,11510
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43,9893%	0,14148
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25,3682%	0,16659
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84,6509%	0,09856
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,8693%	0,07813
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12,4115%	0,19419
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	72,5557%	0,11179
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24,9558%	0,16728
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81,3500%	0,10241
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97,1484%	0,07730
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,0129%	0,06939
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,8284%	0,07051
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,4825%	0,07230
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,5596%	0,06476
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,4298%	0,06614
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	83,2173%	0,10027
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25,1274%	0,16699
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81,1297%	0,10266
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,2028%	0,07354
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,2158%	0,07349
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	42,6332%	0,14304
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,2940%	0,06735
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60,1277%	0,12431
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,4242%	0,06620

*Slika 5.3 Prikaz rezultata Kolmogorovog testa maksimalnih godišnjih protoka rijeke Horvatske*

## 6. Zaključak

Empirijskim metodama izračunate su maksimalne vrijednosti protoka za različita povratna razdoblja. Korištenjem triju različitih metoda, dobiveni su različiti rezultati. Metoda V. T. Chowa, npr. za 100 godišnja povratna razdoblja, daje rezultat protoka za navedeno razdoblje u iznosu od 1,73 m<sup>3</sup>/s. Kod racionalne metode rezultat za isto povratno razdoblje iznosi 72,60 m<sup>3</sup>/s, dok se Srebrenovićeva metoda izdvaja zbog značajno većeg rezultata protoka kod 100 godišnjeg povratnog razdoblja u iznosu od 616,23 m<sup>3</sup>/s.

Statističkim metodama su također izračunate maksimalne vrijednosti protoka u odnosu na različita povratna razdoblja. Za Gaussovu metodu kod 100 godišnjeg povratnog razdoblja protok iznosi 60,68 m<sup>3</sup>/s, isti kao i kod Pearson 3 raspodjele, kod Galtonove raspodjele dobiven rezultat je 72,00 m<sup>3</sup>/s, te kod Gumbelove raspodjele protok 100 godišnjeg povratnog razdoblja je 71,05 m<sup>3</sup>/s. Kako možemo vidjeti protoci iznose u rasponu od 60,68 do 72,00 m<sup>3</sup>/s te nema većih odstupanja kao kod empirijskih metoda. Kolmogorovljevim testom prema kritičnim vrijednostima potvrđuje se da sve četiri raspodjele zadovoljavaju za niz od 35 člana. Najbolju prilagodbu imaju Gaussova i Pearson 3 raspodjela.

Pregledom svih rezultata, empirijskih i statističkih, zaključuje se da rezultati dobiveni različitim metodama mogu povezati za određeno povratno razdoblje. S obzirom kako slivna površina iznosi 232,29 km<sup>2</sup>, vidljivo je da V. T. Chow metoda i Srebrenovićeva metoda imaju prevelika odstupanja u usporebi sa statističkim podacima. Nisu provodljiva kod slivova velikih površina. Empirijska metoda koja daje rezultate sličnim statističkima je racionalna metoda. Kod 100 godišnjeg povratnog razdoblja protok iznosi 72,60 m<sup>3</sup>/s. Uspoređujući statističke rezultate maksimalnih godišnjih protoka kod Gumbelove i Galtonove raspodjele koji su u rasponu od 71,05 do 72,00 m<sup>3</sup>/s potvrđuje se teza da se, kod većih slivova, racionalna metoda može koristiti.

## 7. Literatura

ABRAMOWITZ, M. AND STEGUN, I. A. (ur.). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, 9th printing. New York: Dover, 1972.

ANIČIĆ, B. i JURIŠA, M. (1983): *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, List Rogatec*, L 33-68, Institut za geološka istraživanja Zagreb i Geološki zavod Ljubljana. Savezni geološki zavod Beograd.

ANIČIĆ, B. i JURIŠA, M. (1985): *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, List Rogatec*, L 33-68, *Tumač za geološku kartu list Rogatec*, Geološki zavod Ljubljana i Institut za geološka istraživanja Zagreb. Savezni geološki zavod Beograd.

BABIĆ, LJ. i ZUPANIČ, J. (1973): *Najmlađa jura i starija donja kreda u Ivanščici*. Geol. vjesnik 26, 267-272, Zagreb

BASCH, O. (1981): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. List Ivanić Grad*, L 33-81, Savezni geološki zavod, Beograd.

BASCH, O. (1983): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. List Ivanić Grad*, L 33-81, *Tumač za geološku kartu list Ivanić Grad*. Savezni geološki zavod, Beograd.

CHOW, V.T. (1960): *Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins, Engineering experiment station bulletin*, No. 462, 1-105.

CHOW, V.T. (1964): *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1481 str.

EGPV – Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske (1988-2000). Projekt Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Hrvatskih voda, Zagreb.

HABDIJA ŽIGMAN, V., VARGA, Ž., PTICEK, A., BARBIĆ, I., DRAGOVAN, H., (2015): *Obnova državne ceste D 307 na dionici Donja Stubica –Marija Bistrica, duljine 14, 376 km, Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš*, Zagreb.

Hrvatske vode (2013): *Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2013. - 2015.*

KÖPPEN, W. (1918): *Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf*.

KUICHLING, E. (1889): *The Relation between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts*. Transactions of ASCE, 20, 1-60.

JOVANOVIĆ, S. (1981): *Primjena metoda matematičke statistike u hidrologiji*, Građevinski fakultet, Beograd, 322. str.

SREBRENOVIĆ, D. (1970): *Problemi velikih voda*, Tehnička knjiga, Zagreb, 278 str.

ŠIKIĆ, K., BASCH, D. i ŠIMUNIĆ, A. (1972): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zagreb, L 33-80*, Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, D. i ŠIMUNIĆ, A. (1979): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zagreb, L 33-80, Tumač za geološku kartu list Zagreb*. Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIMUNIĆ, AN. (1992): *Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog zagorja*. Disertacija, 1-190. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M., HEČIMOVIĆ, I. i ŠIMUNIĆ, AL. (1982): *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, L 33-69. Tumač za geološku kartu list Varaždin*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.

ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M. i HEČIMOVIĆ, I. (1983): *Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, list Varaždin, L 33-69*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.

VRANIĆ, V. (1965): *Vjerojatnost i statistika*, Tehnička knjiga, Zagreb, 378. str.

ŽUGAJ, R. (2015): *Hidrologija*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 538 str.

Internet stranice:

<https://www.wsurf.net/vrijeme-beaufort.php> pristupljeno 05.06.2019.

<http://www.kzz.hr/općenito> pristupljeno 05.06.2019.