

# Usporedba režima istjecanja podzemnih voda na istočnom dijelu Rijeke

---

**Turčić, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:161290>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**LUKA TURČIĆ**

**Usporedba režima istjecanja podzemnih voda na istočnom  
dijelu Rijeke**

**Završni rad**

**Rijeka, lipanj 2020.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij  
Smjer: Građevinarstvo  
Vodni resursi i sustavi**

**Luka Turčić  
JMBAG: 0114029578**

**Usporedba režima istjecanja podzemnih voda na istočnom  
dijelu Rijeke**

**Završni rad**

**Rijeka, lipanj 2020.**

Naziv studija: **Sveučilišni preddiplomski studij Građevinarstvo**  
Znanstveno područje: Tehničke znanosti  
Znanstveno polje: Građevinarstvo  
Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema završnog rada

**ANALIZA VODNOG REŽIMA IZVORIŠTA VODOOPSKRBE S PODRUČJA RIJEKE**  
**ANALYSIS OF THE WATER REGIME OF WATER SUPPLY SOURCES FROM THE AREA**  
**OF RIJEKA**

Kandidat: **LUKA TURČIĆ**  
Kolegij: **VODNI RESURSI I SUSTAVI**  
Završni rad broj: **20-P-19**

**Zadatak:**

U radu je potrebno:

- Prikazati opće značajke vodnih resursa izvorišta na širem riječkom području
- Provesti osnovnu hidrološku analizu godišnjih podataka s izvora Rječine, Zvira i Martinšćice
- Analizirati unutargodišnju raspodjelu protoka na analiziranim izvorištima
- Provesti usporedbu dnevnih vrijednosti protoka

**Tema rada je uručena: 24. veljače 2020.**

**Mentor :**

doc. dr. sc. Josip Rubinić  
dipl. ing. građ.

## **IZJAVA**

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Luka Turčić

U Rijeci, 19. lipanja 2020.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Josipu Rubiniću koji mi je nesebično ustupio svoje znanje i vrijeme, te me upućivao i savjetovao prilikom sastavljanja ovog završnog rada.

## Sažetak:

Ovim radom analizirani su i uspoređeni najizdašniji riječki izvori - Izvor Rječine, izvor Zvir i izvorište Martinšćica i to tijekom razdoblja zajedničkog osmatranja 1979.-1990. godine. Obradene su opće teme koje karakteriziraju promatrano područje – klima i hidrogeologija riječkog područja, a opisani su i mnogi drugi povijesno važni izvori u gradu Rijeci i okolici od kojih nekolicina i danas ima važnu ulogu. U glavnom dijelu rada provedena je usporedba karakterističnih maksimalnih, srednjih i minimalnih godišnjih i mjesečnih protoka te srednjih dnevnih protoka spomenutih triju izvora. Kako su nedostajali podaci na izvoru Zvir iz 1984. godine, isti su nadomješteni regresijskom analizom s podacima zabilježenim na izvorištu Martinšćica. Na temelju tako kompletiranih protoka, provedena je usporedba i analiza značajki navedenih izvora. Utvrđeno je da Izvor Rječine presušuje redovito svake godine, ali ima najveću izdašnost među promatranim izvorima. Zvir i Martinšćica ne presušuju, stoga imaju nezamjenjivu ulogu za vrijeme sušnih mjeseci, osobito Zvir na kojemu u sunčanijem dijelu godine, kad Izvor Rječine presuši, leži gotovo cijeli vodoopskrbni sustav riječkog vodovoda.

## Ključne riječi:

Krški izvori, karakteristični protoci, podzemna voda, presušivanje izvora, vodoopskrba

## Summary:

The most abundant river springs – Izvor Rječine, spring Zvir and springs Martinšćica have been analyzed and compared throughout the period of common observation from 1979 to 1990. General topics which characterize the observed area were elaborated – climate, hydrogeology of the river area and many other historically significant springs in Rijeka and its surroundings which even today have important roles were described. In the main part of the paper, comparison of characteristic maximum, mean and minimum annual and monthly flows have been conducted together with the mean daily flow for the three abovementioned springs. Since the data for the spring Zvir in year 1984 was missing, it was replaced with the regression analysis of the data recorded on springs Martinšćica. A comparison and analysis of the spring characteristics has then been conducted based on the completed data. It was shown that Izvor Rječine is drying up regularly every year, but is also the most abundant among the springs. Zvir and Martinšćica are not drying up and have therefore an indispensable role during the arid months, especially Zvir on which, during the more sunny periods when Izvor Rječine dries up, almost the whole water supply system of Rijeka's aqueduct is relying.

## Keywords:

Karst springs, characteristic flows, underground water, drying of springs, water supply

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE .....	2
2.1. Hidrogeologija promatranog područja .....	2
2.2. Klima promatranog područja .....	3
2.3. Značajke voda u kršu.....	4
3. NAJZNAČAJNIJI IZVORI: IZVOR RJEČINE, ZVIR I MARTINŠĆICA .....	6
3.1. Općenito o izvorima analiziranog područja .....	6
3.2. Izvor Rječine .....	9
3.3. Izvor Zvir.....	10
3.4. Izvorište Martinšćica .....	11
4. PODACI I METODOLOGIJA.....	13
4.1. Korišteni podaci .....	13
4.2. Metodologija .....	13
5. ANALIZA I USPOREDBA PODATAKA .....	15
5.1. Nadopuna podataka na izvorištu Zvir regresijskom analizom .....	15
5.2. Usporedba godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica.....	21
5.3. Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka .....	24
5.4. Karakteristične vrijednosti mjesečnih protoka .....	27
5.5. Usporedba dnevnih vrijednosti protoka .....	31
6. ZAKLJUČAK .....	38
7. LITERATURA.....	39



## POPIS SLIKA:

Slika 1. Slivovi riječkog područja (Biondić i sur., 2005).....	2
Slika 2: Srednje godišnje oborine Kvarnera i Istre (Biondić i sur., 2004) .....	3
Slika 3: Krški reljefni olici ( <a href="https://sites.google.com/site/primorskahrvatska89/home/reljef">https://sites.google.com/site/primorskahrvatska89/home/reljef</a> ). .	4
Slika 4: Konceptijski model krškog vodonosnika (Rubinić, 2020).....	5
Slika 5: Izvori riječkog područja i okolice .....	8
Slika 6: Poprečni profil Izvora Rječine (Linić, 2005.).....	10
Slika 7: Poprečni profil izvora Zvir (Linić, 2005.) .....	11
Slika 8: Potoci i bunari u Martinšćici (Linić, 2005).....	12
Slika 9: Formula standardne devijacije ( <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57758">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57758</a> ) .....	13
Slika 10: Korelacija minimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu svibanju .....	15
Slika 11: Korelacija minimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu lipnju .....	16
Slika 12: Korelacija minimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu srpnju .....	16
Slika 13: Korelacija srednjih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu svibnju.....	17
Slika 14: Korelacija srednjih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu lipnju .....	18
Slika 15: Korelacija srednjih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu srpnju .....	18
Slika 16: Korelacija maksimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu svibnju.....	19
Slika 17: Korelacija maksimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu lipnju .....	20
Slika 18: Korelacija maksimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu srpnju .....	20
Slika 19: Usporedba minimalnih godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica .....	22
Slika 20: Usporedba maksimalnih godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica .....	23
Slika 21: Usporedba srednjih godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica .....	24
Slika 22: Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka Izvora Rječine i Martinšćice .....	25
Slika 23: Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka Izvora Rječine i Zvir .....	26
Slika 24: Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka izvorišta Martinšćica i izvora Zvir .....	27
Slika 25: Odnos karakterističnih mjesečnih protoka na Izvoru Rječine za razdoblje 1979.-1990. ....	28
Slika 26: Odnos karakterističnih mjesečnih protoka na izvoru Zvir za razdoblje 1979.-1990. ....	29
Slika 27: Odnos karakterističnih mjesečnih protoka na izvorištu Martinšćica za razdoblje 1979.-1990. ....	30
Slika 29: Usporedba srednjih dnevnih protoka Izvora Rječine, Martinšćice i Zvira 1987. godine .....	32

Slika 30: Dijagram učestalosti analiziranih izvora za cjelokupno razdoblje 1979.-1990. ....	35
Slika 31: Krivulja trajanja analiziranih izvora za cjelokupno razdoblje 1979.-1990. ....	35
Slika 32: Krivulja trajanja analiziranih izvora za najvodniju, 1982. godinu promatranog razdoblja. ....	36
Slika 33: Krivulja trajanja analiziranih izvora za najsušu, 1983. godinu promatranog razdoblja. ....	37

## POPIS TABLICA:

Tablica 1: Obrazloženje koeficijenta determinacije analogno Chadockovoj ljestvici (Gulić, 2018.).....	14
Tablica 2: nadopuna nedostajućih minimalnih protoka 1984. godine.....	17
Tablica 3: nadopuna nedostajućih srednjih protoka 1984. godine .....	19
Tablica 4: nadopuna nedostajućih maksimalnih protoka 1984. godine .....	21
Tablica 5: Karakteristični godišnji protoci Izvora Rječine, Zvira i Martinšćice između 1979.-1990. ....	21
Tablica 6: Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesečnih protoka na Izvoru Rječine.....	28
Tablica 7: Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesečnih protoka na izvoru Zvir .....	29
Tablica 8: Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesečnih protoka na izvorištu Martinšćica.....	30
Slika 28: Usporedni prikaz srednjih mjesečnih protoka analiziranih izvora.....	31
Tablica 9: Trajanje i učestalost Izvora Rječine po razredima protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.....	33
Tablica 10: Trajanje i učestalost izvora Zvira po razredima protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.....	34
Tablica 11: Trajanje i učestalost izvorišta Martinšćica po razredima protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.....	34

# 1. UVOD

Riječko područje nalazi se između mora i planina, samim time obiluje količinom padalina. Uz ovakav olakotan položaj, ovo područje nastaje na karbonatnim stijenama, koje se isprepleću s flišnim naslagama. Područje Rijeke razvijeno je krškim reljefnim oblicima, stoga je podzemlje izrazito razvijeno. Navedene činjenice opravdavaju veliki broj izvora na promatranom području. Isti izvori su veoma kvalitetni, samim time im je i voda zadovoljavajuće kvalitete. Ovim radom zadržat ćemo se na tri najizdašnija, a samim time i najznačajnija izvora ovog područja, a to su: Izvor Rječine, izvor Zvir, te izvorište Martinščica.

Grad Rijeka kao što samo ime govori, usko je povezan uz rijeku Rječinu oko koje se razvijao, odnosno uz dva velika izvora koja opskrbljuju istu rijeku: Izvor Rječine na početku, te izvor Zvir pri kraju njezinog toka. Isti izvori kroz povijest imali su presudnu ulogu pri nastajanju gospodarstva, trgovine, te drugih važnih izvora prihoda neophodnih za razvitak grada Rijeke, ali i Hrvatskog primorja.

Rimska Trsatika, već od 1. st., koristila je za svoje potrebe vodu Rječine, ali i drugih izvora koji će biti opisani ovim radom. Tih davnih godina voda se koristila za piće, terme, perila, navodnjavanje, te za razne druge svrhe. Danas, razvitkom tehnologije, u prvom redu voda Rječine, odnosno njenih izvora koristi se za vodoopskrbu šireg riječkog područja. U novije vrijeme otkriveno je i izvorište Martinščica koje također vodom opskrbljuje stanovništvo, te tako doprinosi svojim udjelom u vodoopskrbnoj mreži.

Transport vode s izvora prema stanovništvu danas vrši KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka. Vodovod se koristi vodom: Izvora Rječine, izvora Zvir, Martinščice; te sa 3 izvora u Bakarskom zaljevu: Perilo, Dobra i Dobrica. Potrebe za vodom se povećavaju, u prvom redu razvojem turizma, stoga se vodovod nedavno proširio, te sada opskrbljuje i sjeverni dio otoka Krka.

Ovim radom u prvom planu će se analizirati i uspoređivati protoci triju najizdašnjih izvora rječkog vodovoda za razdoblje 1979.-1990., primijenom raznih statističkih metoda korištenih u hidrologiji. Odabrano razdoblje sadrži podatke sa sva tri izvora, te je stoga ono i relevantno za daljnju obradu. Međutim, na izvorištu Zvir bio je prekid u motrenjima, te nedostaju podaci 1984. godine za mjesec svibanj, lipanj i srpanj. Nadopuna podataka ovim radom će se izvršiti regresijskom analizom. Također će se prikazati mnogobrojni grafovi i tablice usporebe istih izvora, s ciljem proučavanja ponašanja izvora u raznim godinama, mjesecima i danima unutar navedenog razdoblja. Radom će se pokušati predvidjeti ponašanje izvora u određenim uvjetima. Također će se regresijskom analizom odrediti pojedinačni međudnos izvora, isti odnos prikazat će se i raznim grafovima radi lakše i detaljnije analize i usporebe.

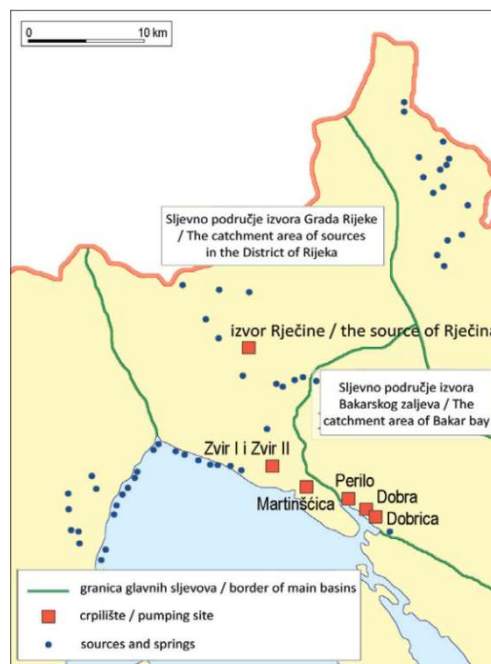
## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE

### 2.1. Hidrogeologija promatranog područja

Promatrani prostor iznimno je bogat podzemnom vodom. Krško podzemlje karakterizira dobro razvijeno podzemlje, stoga hidrogeološke granice na krškim terenima, kakvo je i ovo Riječko teško je odrediti. Takvi slivovi često variraju, što ovisi o nizu faktora kao što je npr. razina podzemne vode, stoga su promjenjivi u vremenu. Nizom istraživanja ovo područje je podijeljeno na dva sliva (slika 1): slivno područje izvora u gradu Rijeci i slivno područje izvora u Bakarskom zaljevu (Biondić B., 2003.). Površina većeg, Riječkog sliva iznosi 465 km<sup>2</sup>, dok 264 km<sup>2</sup> pripada slivnom području izvora u Bakarskom zaljevu (Biondić R., 2004.). Kao što je prije navedeno, teško je odrediti točnu površinu, te stoga razni autori nude svoje podatke.

Ovaj rad bazira se na 3 izvora koja se nalaze u prvom, većem slivu, te će se u nastavku isti opisati. Sliv izvora u gradu Rijeci je zasigurno vodom najbogatiji sliv sjevernojadranskog područja. Obalno područje od Preluke do ulaza u Bakarski zaljev je zona izviranja, a zone prihranjivanja su planinska područja Gorskog kotara i Snježnika, koji su vrlo bogati padalinama, oko 3500 mm godišnje (Biondić i drugi., 2005).

Ovo slivno područje vrlo je složeno, nalazi se na rubnom području Dinarida, gdje se izmjenjuju vapnenci i dolomiti. Većim dijelom tlo se sastoji od dobro vodopropusnih karbonatnih stijena, te vodonepropusnih dijelova koji povremeno stvaraju barijere vodi, tako je voda primorana promijeniti svoj tok (Rubinić i Sarić, 2005). Vinodolska dolina upravo stvara taj vodonepropusni sloj, te na tom kontaktu imamo i mnogo izdašnih izvora. Također vrlo bitnu ulogu u distribuciji vode ima i Grobničko polje, na čijem se rubu povremeno javlja jako istjecanje podzemnih voda koje dalje otječu u Rječinu vodotokom Sušica ili se pak gube u podzemlje u nekoliko izraženijih ponorskih zona, te dalje otječu ka izvorima u priobalju.



Slika 1. Slivovi riječkog područja (Biondić i sur., 2005)

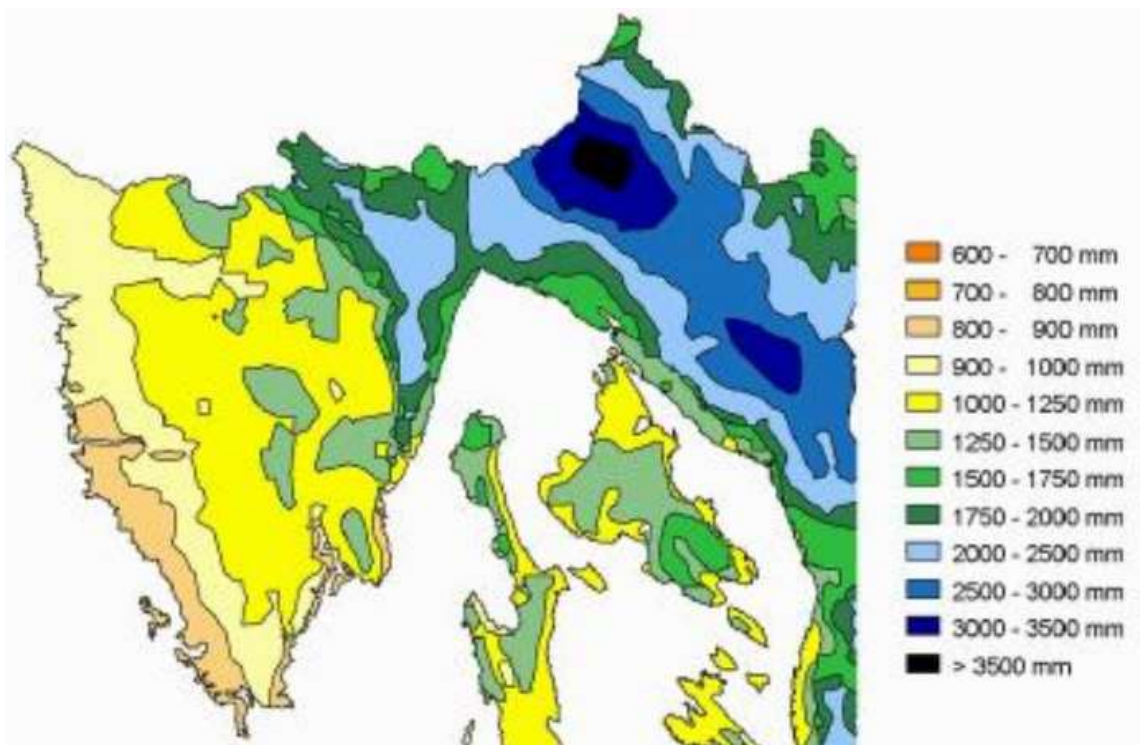
## 2.2. Klima promatranog područja

Uz navedene hidrogeološke karakteristike prostora, zasigurno i klimatski uvjeti doprinose ovako bogato vodom području. Slovenski Snježnik i Gorski kotar nalaze se iznad 1500 m.n.v., uz to su i relativno blizu Jadranskog mora. More ublažava temperaturne razlike, dok visoke planine utječu na gibanje zraka. Takav položaj sliva izravno utječe na naoblaku i pogoduje velikoj količini padalina. Prosječna količina oborina na godišnjoj razini na ovom području (slika 2) iznosi oko 1530 mm. Najveća količina oborina padne tokom hladnog dijela godine (Benac i drugi, 2003).

Dugogodišnjim (1971.-2000.) opažanjima meteoroloških veličina na glavnoj meteorološkoj postaji Rijeke ustvrdilo se prema Köppenovoj klasifikaciji klime, da Rijeka ima umjereno toplu kišnu klimu (C), bez suhog razdoblja, s minimumom u toplom dijelu godine i s vrućim ljetom.

Rijeka ima maritimni tip godišnjeg hoda mjesečnih količina oborine, njega odlikuje maksimum u listopadu, te minimum u srpnju. U prosjeku trećina dana unutar godine su oborinski dani. Srednja godišnja relativna vlažnost iznosi 63% ([https://www.rijeka.hr/wp-content/uploads/2016/08/GUP\\_2007\\_polazista\\_ciljevi\\_plan.pdf](https://www.rijeka.hr/wp-content/uploads/2016/08/GUP_2007_polazista_ciljevi_plan.pdf))

Istjecanje vode na izvorima usko je vezano uz količinu padalina, što nam je od velike važnosti tokom ljetnih mjeseci. Izvor Rječine, kao najizdašniji izvor Riječkog sliva redovito presušuje za vrijeme sušnih razdoblja, što će se detaljnije prikazati u nastavku. Pozitivna činjenica odnosi se na hidrogeologiju koja omogućuje velike rezerve vode. Naime, slivno područje zahvaća u planinsko zaleđe koje u vrijeme sušnih razdoblja obiluje vodom što pruža obnavljanje rezervi kvalitetne vode (Grbac i drugi, 2009). Uvjeti terena ukazuju nam na veliku prirodnu varijabilnost vodnog režima na izvorištima vode.



Slika 2: Srednje godišnje oborine Kvarnera i Istre (Biondić i sur., 2004)

### 2.3. Značajke voda u kršu

Krš je pojam uvriježen u hrvatskoj znanstvenoj i stručnoj literaturi, a podrijetlo riječi izvodi se iz indoeuropskog korijena „kar“, što znači stijena, stjenoviti kraj. Dinarski krš sadrži sve površinske i podzemne krške oblike, pa u svijetu predstavlja “locus typicus” krša (Jagodnik, 2020.). Krške strukture na prostoru Republike Hrvatske zauzima gotovo 50% površine. Kao što sam korijen riječi govori, riječ je o veoma stijenovitom području.

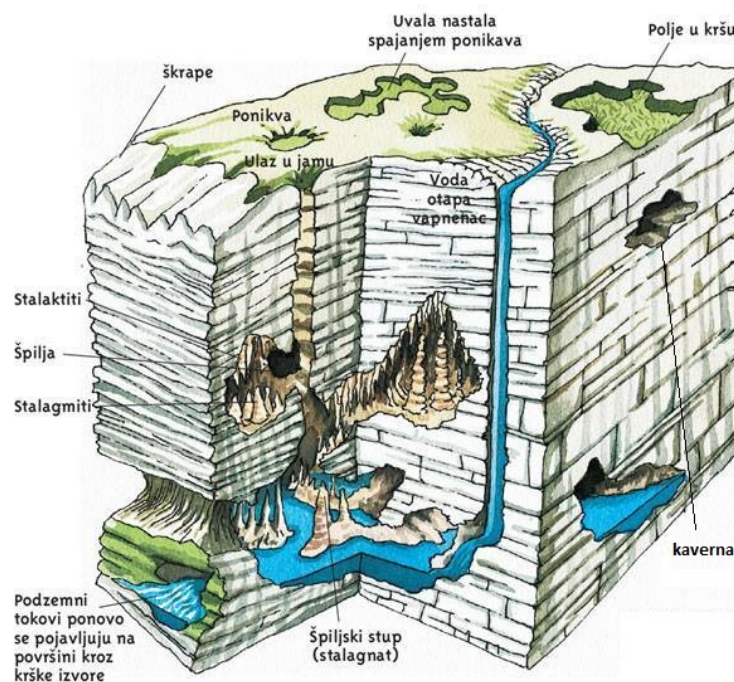
Krš je vid reljefa koji nastaje i razvija se u karbonatnim stijenama (vapnenci i dolomiti), posljedica toga je njegova karakteristika da je lako topiv u vodi. Uzrok otapanja je voda koja u sebi sadrži ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), pri čemu se kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) pretvara u kalcijev bikarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), koji je u vodi topiv (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=34221>). Nagrizanjem i trošenjem stijena pukotine se u vapnencu proširuju, te se međusobno povezuju u mrežu podzemnih šupljina koje stvaraju kanale, te na pojedinim mjestima sežu do velikih dubina, ponegdje i ispod razine mora. Otapanjem vapnenca dijelom preostaju netopive mineralne tvari, u kojima dominiraju oksidi metala (crvenica) (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=34221>).

Za postanak krških reljefnih oblika (slika 3) neophodna su tri uvjeta:

- tlo mora biti formirano od stijena relativno lako topivih u vodi;
- područje prostiranja stijena mora biti obilježeno relativno velikom količinom padalina;
- stijene moraju imati dobro razvijenu sekundarnu poroznost, odnosno dobru vodopropusnost, koja omogućuje vodi poniranje i cirkulaciju kroz naslage.

Usljed korozije vapnenca nastaju sljedeći krški reljefni oblici:

- a) površinski oblici: škrape, ponikve, uvale, polja i zaravni;
- b) podzemni oblici: stalaktiti, stalagmiti, stupovi, jame, špilje i kaverne (Jagodnik, 2020.).

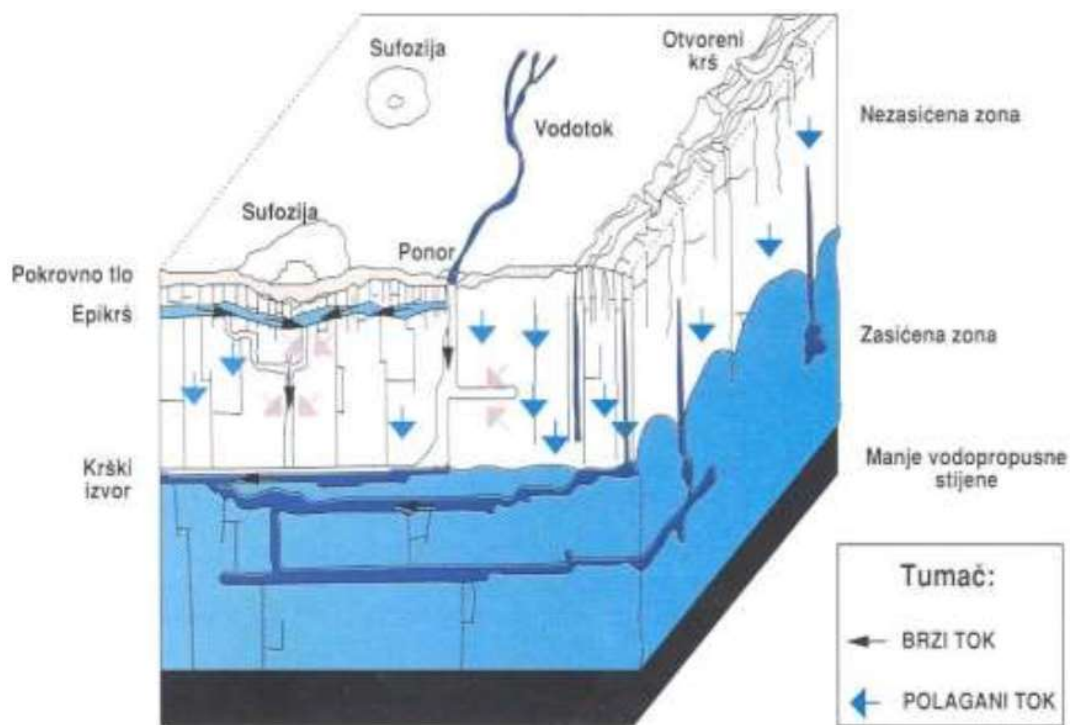


Slika 3: Krški reljefni oblici (<https://sites.google.com/site/primorskahrvatska89/home/reljef>).

Infiltracija vode na vapnenačkoj podlozi omogućena je upravo procesom korozije karbonatnih stijena. Takvi novonastali oblici, u tlu stvaraju sekundarnu poroznost koja omogućava trenutno poniranje, te brzi protok podzemne vode u kršu. Dok se primarna poroznost odnosi na šupljine između čestica tla kojima sporo cirkulira podzemna voda, sekundarna poroznost stvara rasjede, diskontinuitete, šupljine, kanale, te slične otvore unutar stijene kojima voda struji velikom brzinom.

Takvo strujanje podzemne vode (Slika 4) teško je predvidjeti zbog velike razvijenosti podzemlja. Veza između podzemnih i površinskih voda, tj. između hidrogeoloških i hidroloških uvjeta cirkuliranja vode, vrlo je izravna i brza (Bonacci i drugi, 2017). U takvim podzemljima nalaze se velike zalihe vode, no one su često zagađene jer su osjetljive na vanjske utjecaje. Posljedica toga je da se voda najčešće koristi na izvorima, takva voda se ne zadržava puno u podzemlju.

Izvori su prirodno izlivanje podzemne vode na površinu kroz pukotine u stijenskoj masi krša. Najčešće se javljaju na mjestima dodira karbonatnih stijena (vapnenac) i vodonepropusnih podloga (npr. fliš), te na kontaktima s morskom vodom ([https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h06-osnove\\_hidraulike\\_krsa.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h06-osnove_hidraulike_krsa.pdf)).



Slika 4: Konceptijski model krškog vodonosnika (Rubinić, 2020).

### 3. NAJZNAČAJNIJI IZVORI: IZVOR RJEČINE, ZVIR I MARTINŠĆICA

#### 3.1. Općenito o izvorima analiziranog područja

Grad Rijeka i njena okolica, kao što smo naveli nalazi se na krškom području, te obiluje izvorima. Uz 3 najvažnija izvora koja će biti obuhvaćena u nastavku ovoga rada, ovdje će se navesti nekolicina izvora. Isti izvori danas se većinom ne koriste, no vrijedi ih spomenuti zbog njihove osobite važnosti u prošlosti.

Izvor Lešnjak, prvi je koji će biti spomenut. Osobito je bio važan do izgradnje Riječkog vodovoda 1894.god. Koristio se je za vodoopskrbu Tarsatike i rimskih terma već od 1.st., a kasnije za izgradnju i vodoopskrbu povijesne gradske jezgre, ali i današnje Rijeke. Procijenjena minimalna izdašnost izvora Lešnjak iznosi od 30-50 l/s kvalitetne pitke vode (Linić, 2005.). Izvor Lešnjak nalazi se u Ulici žrtava fašizma, blizu zgrade današnje Policijske uprave, te izvire u Mrtvom kanalu (Stražičić, 1999.). Danas je isti natkriven, te se ne uočava s površine Nakon izgradnje vodovoda, ovaj izvor, kao i neki drugi koje ćemo navesti, sve više su se onečišćavali te samim time nisu bili korisni, stoga su natkriveni raznim objektima. Danas su isti, prijemnici otpadnih voda okolnih kućanstava. Mrtvi kanal, ukazuje nam na ovaj problem u samom centru grada Rijeke.

Područjem Školjića, tekla su dva potoka. Prvi izvire ispod Vodovodne ulice kod garaže Autotroleja s minimalnom izdašnošću 100-120 l/s vode. Drugi potok ima dva izvora ispod Kalvarije na sjevernom dijelu Vodovodne ulice s minimalnom izdašnošću 50-100 l/s vode i drugi s minimalnom izdašnošću 100-150 l/s vode. Ova tri izvora osim vodoopskrbe na tom području grada, služila su i za navodnjavanje povrtnjaka za čitavu Rijeku, koji se nalazio na velikom području desne obale Rječine, od izvorišta Zvir do mora (Linić, 2005.). Isti potoci također izvire u Mrtvi kanal, te također dodatno zagađuju. Iako je zagađenje smanjeno izgradnjom kolektora, no nije u potpunosti riješen taj problem.

Potok Žudinka izvire podno stuba u Supilovoj ulici, dijelom ispod hotela Bonavia. Povoljan smještaj izvora, opravdava njegovu ulogu u povijesti, te je uz Lešnjak bio iznimno bitan za ondašnje stanovništvo. Izvorište Andrejšćica sastoji se od 3 susjedna izvora, te se nalazi ispod zgrade Talijanske gimnazije. Izvori zapadno od gradske jezgre izvire u more (Stražičić, 1999.)

Izvor Žabica na lokaciji ispod ili pored današnje Kapucinske crkve, male je izdašnosti, ali je bio važan u vodoopskrbi, zbog blizine luke.

Obližnji izvor Beli kamik, na vrhu istoimene ulice, bio je iznimne kvalitete, te vrlo izdašan, koristio se i za perilo. Višak vode s izvora danas je preusmjereno u more, te se također na tom kratkom djelu javljaju otpadne vode (Linić, 2005.).

Potok Brajda nastaje iz istoimenog snažnog izvora i ima trajan tok. Izvor se nalazi ispod spoja ulica Manzonijske i Fiorella La Guardijske. Korišten je u vodoopskrbi, dok je snaga njegova toka bila iskorištena za pokretanje mlina. Vrlo kvalitetna voda i stalnost toka, pogodovali su izgradnji Rafinerije šećera 1750. godine, nakon njene obustave rada formira se na istom mjestu s proširenjem tvornica duhana, te nakon Drugog svjetskog rata vodu koristi



Tvornica Rikard Benčić do 1998. godine. Izvor Brajda izdašan je izvor, te mu je minimalna izdašnost oko 80 lit./s, a maksimalna 577 lit./s (Stražičić, 1999.).

„Škurinjski“ Potok, naprotiv, ima nekoliko kilometara dugačak tok, ali samo u kišnom dijelu godine, bujičnog je karaktera, stoga nikad nije bio korišten u vodoopskrbi. Izvire ispod Tibljaša.

Današnji park Mlaka, ima dva potoka, Mlačica i Podpinjol. Mlačica je formirana iz dva izvora, izdašniji izbija ispod Ulice Podmurvice, dok se desetak metara nizvodno nalazi i drugi izvor. Podpinjol izvire u blizini izvora Mlačice, minimalni kapacitet izvora je oko 120 lit./s, a maksimalni oko 380 lit./s. Tok Podpinjola je stalan, dok Mlačica redovito presušuje.

Potok Mlaka nastaje iz četiri izvora ispod ulice Luki. Najizdašniji među njima, cijelogodišnjeg je karaktera, nalazi se ispod današnje benzinske crpke. Minimalni kapacitet iznosi 110 lit./s, a maksimalni 690 lit./s. Drugi izvire na središnjem dijelu Ulice Luki. Veći dio godine i on je aktivan. Preostala dva manja izvora, kao mnogi u Rijeci javljaju se tokom kišnog dijela godine. Voda ovih izvora korištena je za potrebe Rafinerije nafte na Mlaci (Stražičić, 1999.).

Rečice su snažno i nepresušno izvorište, sastoji se od šest izvora, smještenih neposredno prije ulaza u bivšu Tvornicu Torpedo. Izvori Rečice, minimalnom izdašnošću oko 120 l/s kvalitetne pitke vode, bili su osnovni uvjet za naseljavanje tog područja.

Izvorište Cerovice nalazi se unutar kompleksa Brodogradilišta "3. maj" na Kantridi. Minimalna izdašnost iznosi oko 150 l/s kvalitetne vode.

Na području Drage vrijedi napomenuti izvore Javor i Vrulja, te izvor Vrutak. Izvor Javor nalazi se na strmoj padini, dok se Vrulja nalazi na blagoj padinu ispod naselja Draga. Javor ima minimalnu izdašnost oko 60 l/s vode, dok Vrulja ima oko 301 l/s. Izvor Vrutak, također je stalnog karaktera, nalazi se između naselja Draga i Gušć, te željezničkog nasipa. Draški izvori bili su važni u vodoopskrbi okolnih naselja do izgradnje vodovodne mreže, nakon Drugog svjetskog rata. Danas su isti izvori napušteni (Linić, 2005.).

Na području Rijeke ima i drugih izvora, no ovdje spomenuti, kroz povijest su bili neophodni za okolno stanovništvo, te razvoj grada. Uz ovdje navedene izvore, u nastavku kratko će biti opisani i izvori koji su danas od velike važnosti za vodoopskrbni sustav Riječkog vodovoda.

Slivno područje izvora u Bakarskom zaljevu (slika 1), također sudjeluje u vodoopskrbi Riječkog vodovoda, te tako opskrbljuje šire gradsko područje, dijelom i otok Krk. Isti izvori, opskrbljuju se iz planinskog zaleđa, te istječu na kontaktima vodopropusnih vapnenaca i nepropusnih flišnih naslaga. Izvori su osobito izdašni za vrijeme kišnih razdoblja. Izvori uključeni u vodoopskrbu u Bakarskom zaljevu su: Perilo, Dobra i Dobrica, isti izvori povezani su 1961. godine s riječkim vodoopskrbnim sustavom (Linić, 2005.). Isti izvori redovito se zaslanjuju za vrijeme niskih razina podzemnih voda, no vrijedi napomenuti da se isti vrlo rijetko zamućuju (Hinić i Margata, 2005.).

Dobra je prvi kaptiran izvor, među spomenutim izvorima. Kaptažni zahvat nalazi se na mjestu prirodnog izviranja. Kaptažni zahvat Perilo kompleksan je zahvat, sastoji se od vertikalnog šahta dubine oko 60 m i horizontalne galerije dužine oko 100 m. Kaptažni zahvat Dobrica se sastoji od drenažnog rova dužine oko 50 m, koji drenira podzemnu vodu (Biondić i

sur., 2005.). Prosječna minimalna izdašnost izvora Dobrica iznosi 90 l/s, izvora Dobra 40 l/s, te izvora Perilo 80 l/s (<http://www.kdvvik-rijeka.hr/>).

Transport vode s izvora prema stanovništvu danas vrši KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka. Korišteni izvori u vodoopskrbi su: Izvor Rječine, izvori Zvir I i Zvir II, Martinšćica u Riječkom slivu, te Perilo, Dobra i Dobrica u Bakarskom zaljevu. Zbrajanjem minimalnih vrijednosti protoka navedenih izvora, dolazimo do količine od 4250 l/s, što višestruko namašuje potrebe, isto tako voda iz izvorišta vrlo je visoke kvalitete (Grbac i drugi, 2009). U nastavku detaljnije će biti opisani naizdašniji izvori ovog područja: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica. Svi navedeni izvori prikazani su na slici 5.



Slika 5: Izvori riječkog područja i okolice

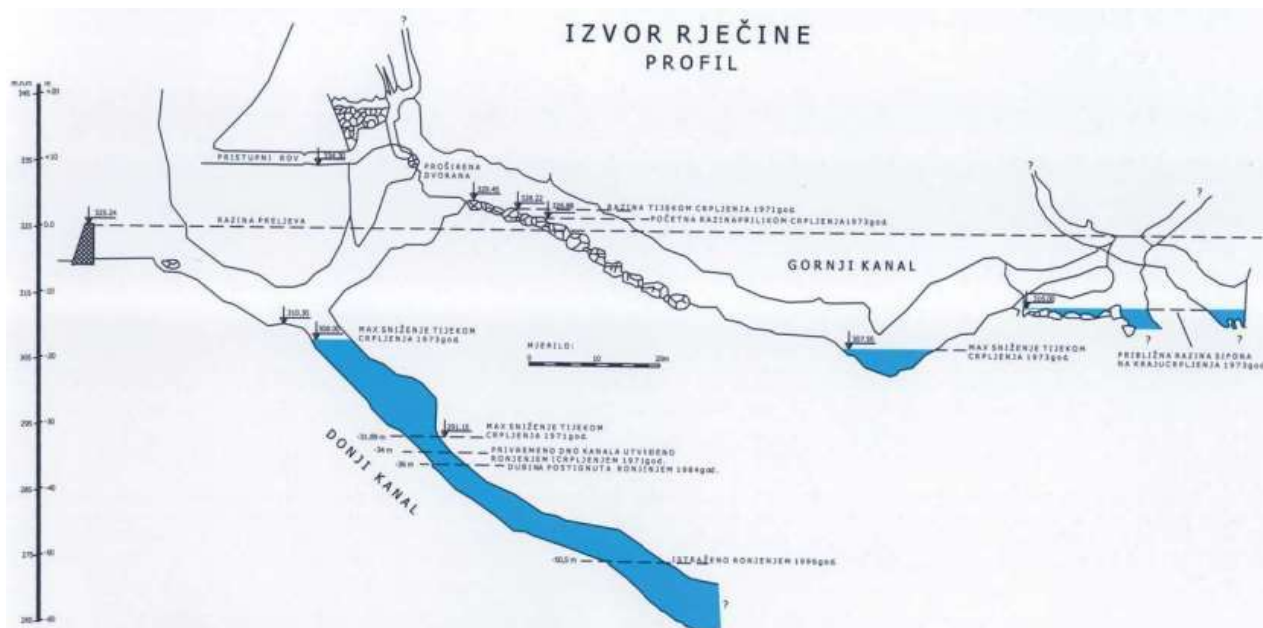
### 3.2. Izvor Rječine

Od samih početaka naseljavanja grada, ovaj izvor (izvorno Izvor Rečine, odnosno Izvor Ričine) iz kojeg nizvodno teče istoimena rijeka, od velike je važnosti za grad Rijeku. To nam svjedoči tvrdnja da je grad Rijeka poprimila naziv po svom najznačajnijem vodotoku. Izvor Rječine lociran je na udaljenosti 15 km od Rijeke, odnosno oko 2,5 km sjeverno od naselja Kukuljani, na nadmorskoj visini od 325 m.n.v. (<http://www.kd vik-rijeka.hr/>). Kroz povijest na Rječini mnogi su stanovnici grada bili i zaposleni, na njenim obalama bili su izgrađeni mnogobrojni mlinovi, kasnije u 19 st. i tvornice. Danas su nam od tih nekad važnih objekata ostali samo poneki ogoljeni zidovi. To ne umanjuje njenu vrijednost u današnjem vremenu kada se ona koristi u druge svrhe. Prvotna joj je zadaća vodoopskrba Riječkog vodovodnog sustava, a uz to dio vode se iskorištava za proizvodnju električne energije Hidroelektranom Rijeka.

Slivno područje toka i izvora u slivu Rječine vrlo je složeno. Pretežno se sastoji od dobro vodopropusnih karbonatnih stijena, iste su na pojedinim mjestima prekinute vodonepropusnim barijerama koje preusmjeravaju tok podzemnih voda (Rubinić i Sarić, 2005). Izvor Rječine, kojega žitelji susjednih naselja nazivaju Zvir, tip je uzlaznog krškog vrela „preljevno“ oblika (slika 6). To znači da se u pozadini izvora nalaze podzemni kanali sifonskog oblika, većim dijelom ispod samog izvora. Kanali su međusobno povezani s podzemnim šupljinama koje za vrijeme kišnih razdoblja nakupljanjem vode formiraju akumulacijski bazeni. Kad se ista retencija uzdigne do visine izlazne šupljine, voda izvire u obliku snažnog izvora (Stražičić, 1999.).

Nakon prelijevanja, voda nastavlja tok dužine 17,5 km, nakon čega se ulijeva u more. Izdašnost Izvora Rječine vrlo je promijenjiva, te varira, od 0 do 120 m<sup>3</sup>/s. Srednja godišnja vrijednost protoka iznosi 7,38 m<sup>3</sup>/s, dok većinom isti protok varira između 40 i 50 m<sup>3</sup>/s (Biondić, 2004.). Tijekom posljednjih trideset godina, samo u tri godine izvor nije presušio. Između 1945. i 2005. godine Izvor Rječine u prosjeku je presušio 42 dana godišnje, dok se ta vrijednost kretala u rasponu od 0 do 157 dana godišnje, uz rast broja dana bez prelijevanja (Rubinić i Sarić, 2005).

Vrlo povaljan visinski položaj izvora iskorišten je izgradnjom gravitacijskog cjevovoda kapaciteta 110 l/s koji vodom opskrbljuje grad (Grbac i drugi, 2009). Vrijedi istaknuti i vodu odličnih fizikalno-kemijskih značajka, temperature 7-7,5 °C, koja je uz obvezno kloriranje prikladna za piće (Nadilo, 2000). Sve to upućuje na veliku važnost Izvora Rječine.



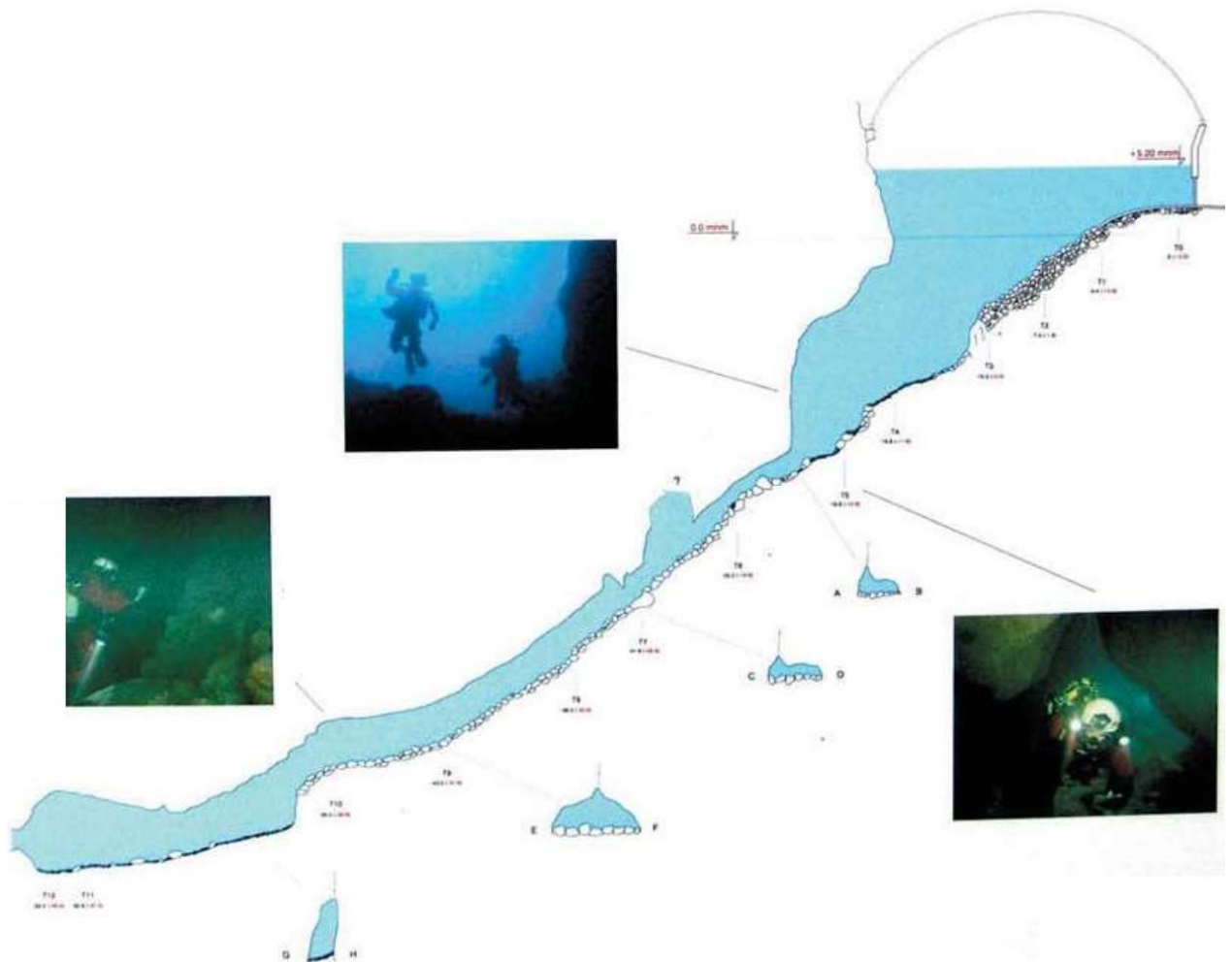
Slika 6: Poprečni profil Izvora Rječine (Linić, 2005.).

### 3.3. Izvor Zvir

Tok Rječine dug je 17,5 km. Gornjim dijelom protječe otvorenom flišnom dolinom, dok se donjim dijelom toka prostiru vapnenačke stijene, formirajući kanjonsku dolinu. Ispod Orehovice njezin tok naglo skreće te teče oko kilometar i pol dugom kanjonskom dolinom, između brda Sveta Katarina i Trsatskog brijega sa Strmicom, te se konačno ulijeva u more. Svega oko 1,5 km prije ušća, Rječina prima s desne strane veoma kratak, snažan i izuzetno važan vodotok koji nastaje iz neobičnog vrela Zvir, smještenog na blizu pet m.n.v. (Stražičić, 1999.).

Zvir je stalnog karaktera, te je to razlog stalnog toka Rječine nizvodno od Zvira. Također ima oblik mirnog jezera promjera 24 m, posljedica toga je što izbija iz dubokog krškog podzemlja (slika 7). 2000 godine istražen je speleoronilački, te snimljen do 53 m dubine (<https://www.speleolog.hr/aktivnosti/objektinacrti/35-geomorfologija-izvora-zvir-u-rijeci>). Kada Izvor Rječine presuši, izvorište Zvir i Zvir 2 (vodozahvatni tunelski potkop - pristupna galerija dužine 400 m sa 6 kopanih bunara ispod Kozale, ukupne minimalne izdašnosti od 500 l/s), ostaju jedini izvori za vodoopskrbu vodoopskrbnog sustava riječkog vodovoda, jer u takvim slučajevima imaju ukupnu procijenjenu minimalnu izdašnost oko 2000 l/s, tada Zvir obuhvaća oko 80 % dostupnih resursa pitke vode riječkog vodovoda (Linić, 2005.).

Voda je dobre kvalitete, te poput vode iz Rječine zamućenje se javlja za jakih kiša, koje padnu nakon dužeg razdoblja suše kada se protoci naglo povećaju. Iako je na samo 5 m.n.v. ova voda nema nikakvih problema sa zaslanjivanjem (Hinić i Margata, 2005.). Uzmemo li u obzir redovito presušivanje Izvora Rječine tijekom ljetnih, sušnih mjeseci, uvidjet ćemo nezamjenjivu ulogu ovog izvora prilikom vodoopskrbe, te samim time vrijedi zaključiti da je isti i najvrijedniji i najznačajniji izvor ovog prostora.



Slika 7: Poprečni profil izvora Zvir (Linić, 2005.).

### 3.4. Izvorište Martinšćica

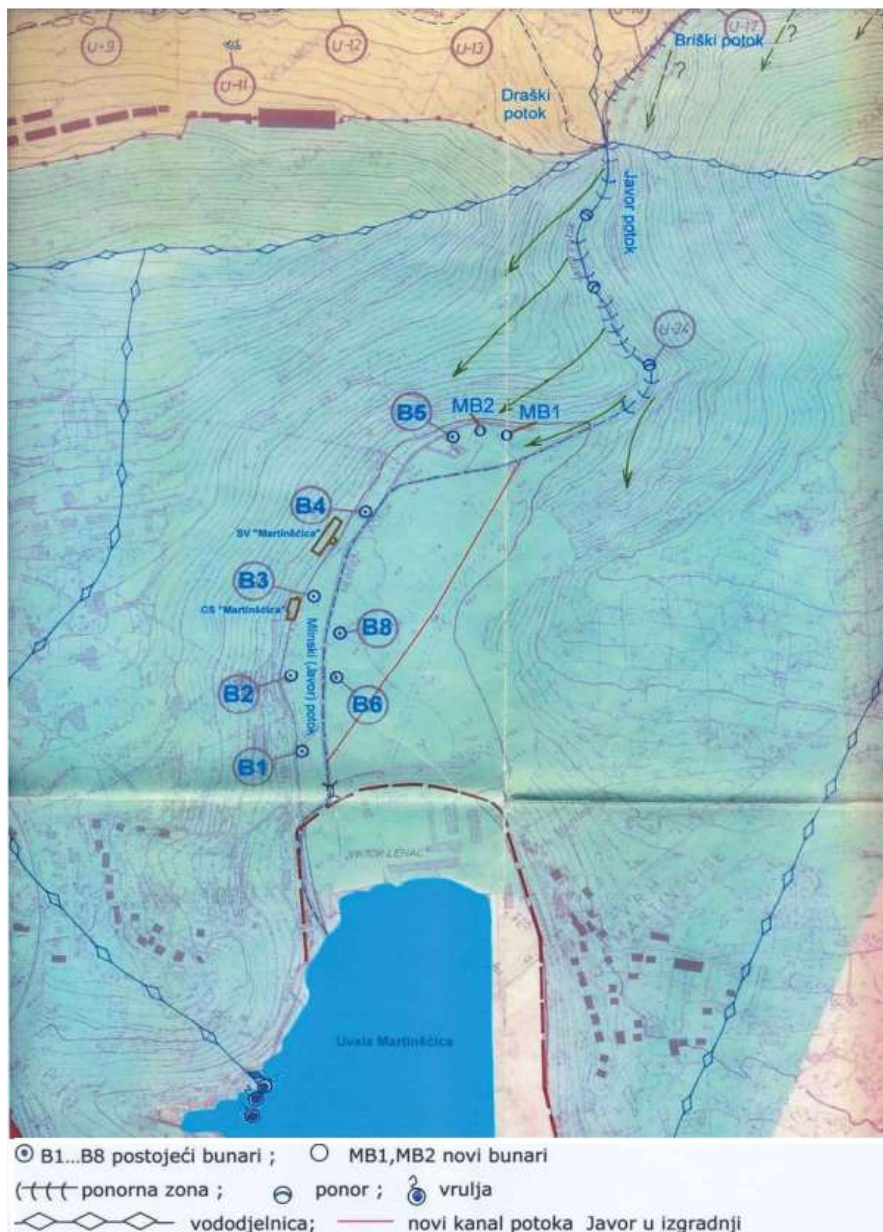
Martinšćica se ubraja među vodom najbogatija područja Kvarnera. Uz nekoliko izvora i Javor potok, koji dotječe iz Drage tu postoje na maloj dubini i podzemni vodotoci, što omogućava relativno jednostavno stvaranje bunara, odnosno izgrađenih zahvata podzemnih voda (Stražičić, 1999.). Uz prethodno dva opisana izvora, također se i Martinšćica nalazi u istome slivu, vodom se snabdijeva s područja Grobničkog polja (Biondić, 2003.).

Podzemne vode Martinšćice ističu u more, no prilikom velikih oborina, izbijaju i na površinu. Upravo to iskustvo i instinkt navodili su istraživače da na Martinšćici traže dodatne izvore pitke vode. To se zbilo 1921. godine, Izvor Rječine presušio je dugih pet mjeseci, samim time je obustavljena vodoopskrba mnogih dijelova Sušaka. Nakon čega je započelo istraživanje vode na Martinšćici, koje je dalo iznimno dobre rezultate (Nadilo, 2000).

Nakon dvije godine već je stavljen u funkciju i prvi bunar, s vremenom je broj „bunara-izvora“ porastao na osam (slika 8), s ukupnim kapacitetom oko 400 l/s (Linić, 1993.). Bunari su bušotine koje prodiru do podzemne vode, pod uzgonom ona izbija na površinu. Za vrijeme visokih voda izvori su veoma izdašni. Koristi se uzlazni učinak podzemne vode koja podzemljem teče pod određenim pritiskom, koji se nailaskom na bušotine, te izbijanjem na

površinu poništava. Može se reći da oni imaju obilježje umjetnih krških izvora (Biondić i Dukanić, 1995.).

Dubina bunara iznosi 20-26 m, što je 15-20 m ispod razine mora, upravo takva situacija pogoduje zaslanjivanju vode. Zaslanjivanje se javlja za niskih razina podzemnih voda, najčešće krajem ljeta i početkom jeseni (kolovoz, rujan). Vrijedi napomenuti da u odnosu na gore navedene izvore, ovaj se izvor osjetno manje zamućuje (Hinić i Margeta, 2005.). Danas je voda Martinšćice od velike važnosti kada Izvor Rječine presuši. Tih ljetnih mjeseci neophona je voda izvora Zvir i Martinšćice za zadovoljavanje potreba vodoopskrbe.



Slika 8: Potoci i bunari u Martinšćici (Linić, 2005).

## 4. PODACI I METODOLOGIJA

### 4.1. Korišteni podaci

Za potrebe izrade rada koristili su se prikupljeni dostupni podaci, a uključuju količine protoka na Izvoru Rječine, izvoru Zvir, te na izvorištu Martinščica. Navedeni protoci uspoređivali su se za razdoblje između 1979. i 1990. godine. Naime, u tom razdoblju su nam dostupni podaci sa sva tri izvora, te je takva usporedba najoptimalnija za obradu. Podacima nedostaju protoci na izvoru Zvir za razdoblje između svibnja i srpnja 1984. godine, isti su se ovim radom nadomjestili, no ipak vrijedi napomenuti da su manje točnosti. Za usporedbu i analizu podataka koristile su se dvije vrste podataka - srednji dnevni protoci i karakteristični mjesečni (maksimalni, srednji i minimalni) protoci. Na temelju ovih vrijednosti prikazani su usporedni grafovi i tablice, te je također izvršena i analiza podataka.

### 4.2. Metodologija

Osnovni ulazni parametar za analizu podataka bio je protok ( $m^3/s$ ). Analiza podataka provedena je na godišnjoj, mjesečnoj i dnevnoj razini. Za iste potrebe, primijenile su se statističke metode korištene u hidrologiji. Izračunata je standardna devijacija, te koeficijent varijacije.

Standardna devijacija (slika 9) označava prosječno srednje odstupanje numeričkih vrijednosti od njihove aritmetičke sredine:

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

Slika 9: Formula standardne devijacije (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57758>).

Koeficijent varijacije dobije se omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine, te izražava bezdimenzionalnu mjeru rasprostranjenosti niza.

Regresijska analiza kojom su se nadomjestili nedostajući podaci izvora Zvir je statistički postupak za procjenu odnosa između varijabli. Krajnja svrha određivanja odnosa između varijabli je otkriti njihov stupanj povezanosti, odnosno matematičku ovisnost i karakteristike jakosti iste veze (Škarica Stupičić i Janković, 2015.).

Njome je određena krivulja koja opisuje podatke dvaju izvora, te se jednadžbom iste krivulje nadomjestio nedostajući protok.

Također, regresijskom analizom, odnosno pomoću koeficijenta determinacije razabrala se uzročna veza, tj. međusobni odnos između svakog pojedinog od ova 3 izvora.

Međuovisnost godišnjih srednjih protoka izvora ocjenjen je prema Chadockovoj ljestvici (tablica 1).

*Tablica 1: Obrazloženje koeficijenta determinacije analogno Chadockovoj ljestvici (Gulić, 2018.).*

<b>Koeficijent determinacije <math>R^2</math></b>	<b>Značenje</b>
0,00	odsutnost veze
0,00 – 0,25	slaba veza
0,25 – 0,64	veza srednje jakosti
0,64 – 1,00	čvrsta veza
1,00	potpuna veza



## 5. ANALIZA I USPOREDBA PODATAKA

### 5.1. Nadopuna podataka na izvoru Zvir regresijskom analizom

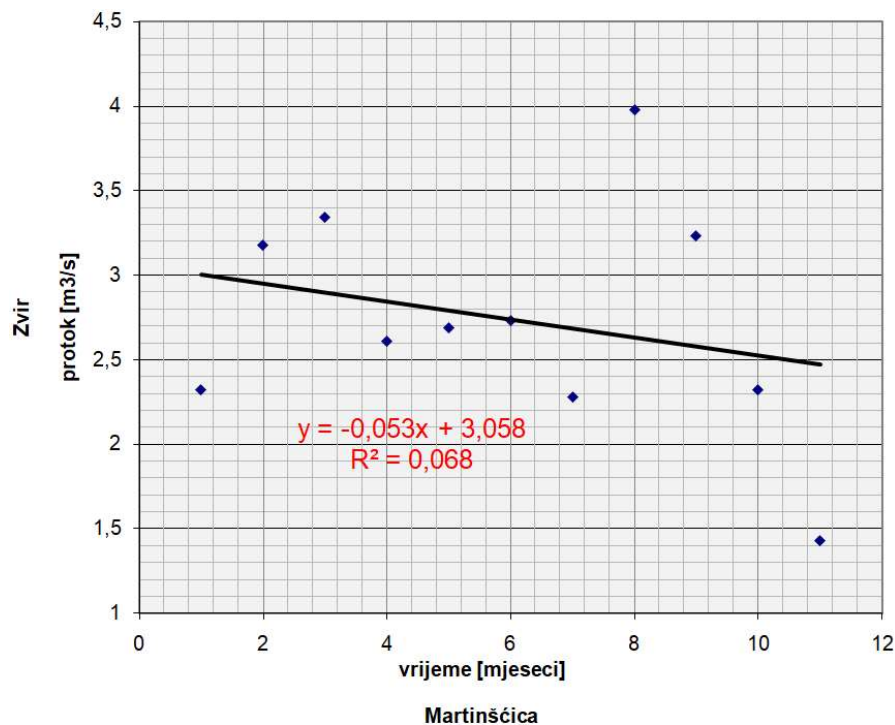
Prilikom obrade podataka, na izvoru Zvir uočeno je da nedostaju podaci iz 1984. godine za mjesec svibanj, lipanj, te srpanj. Tih mjeseci bio je prekid u motrenjima. U nastavku je prikazana nadopuna podataka regresijskom analizom.

Usporedbom izvorišta Martinšćica sa izvorom Zvir na kojemu nedostaju podaci, odredile su se regresijske jednadžbe za posebno maksimalni, posebno minimalni te srednji mjesečni protok.

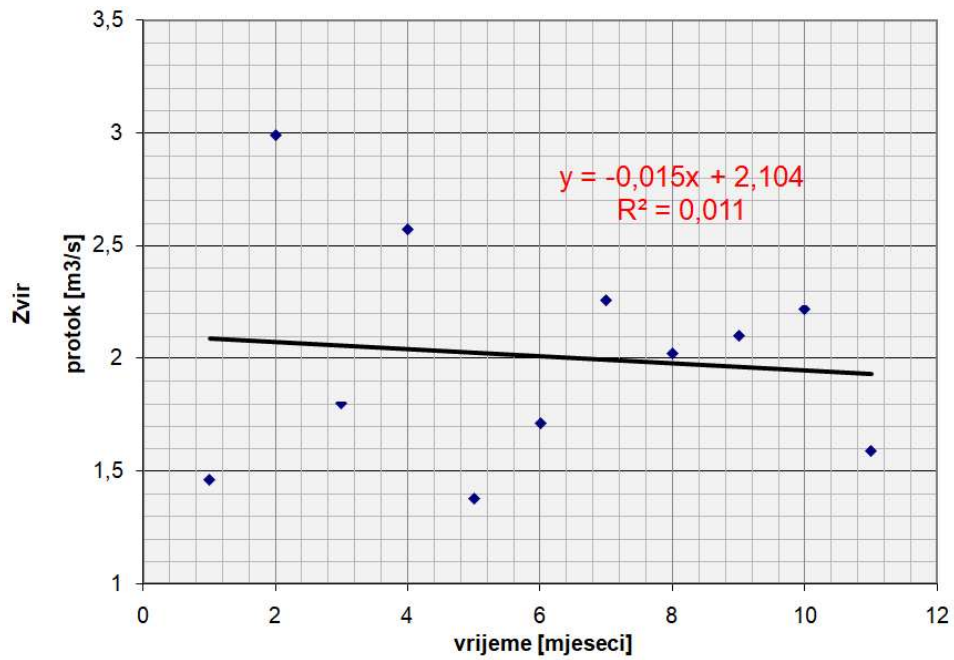
Dobivene regresijske jednadžbe za pojedini skup mjesečnih podataka, bile su približno jednakih vrijednosti. Svaka od njih imala je izrazito male vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, koji nam govori da je loša korelacijska veza između obrađenih podataka. Također polinomne, eksponencijalne i ostale nelinearne funkcije prikazuju promjenu tendencije unutar veze, te im se ekstrem javlja unutar polja analiziranih točaka. Iz tih razloga u svim slučajevima usvojila se linearna funkcija.

Na osnovu tih jednadžbi procijenjene su i nadomještene nedostajuće vrijednosti izvora Zvir, s njima je bilo moguće ići u daljnju obradu, odnosno analizu i usporedbu podataka.

Započevši usporedbu minimalnih mjesečnih protoka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) za period 1979. – 1990., nadomještene su nedostajući podaci s izvorišta Martinšćica na izvor Zvir. Potonji su prikazani tablicom 2. Na sljedećim dijagramima (slika 10,10,12) ucrtani su pravci linearne regresije, te pripadajuće vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2$  i jednadžba linearnog pravca.

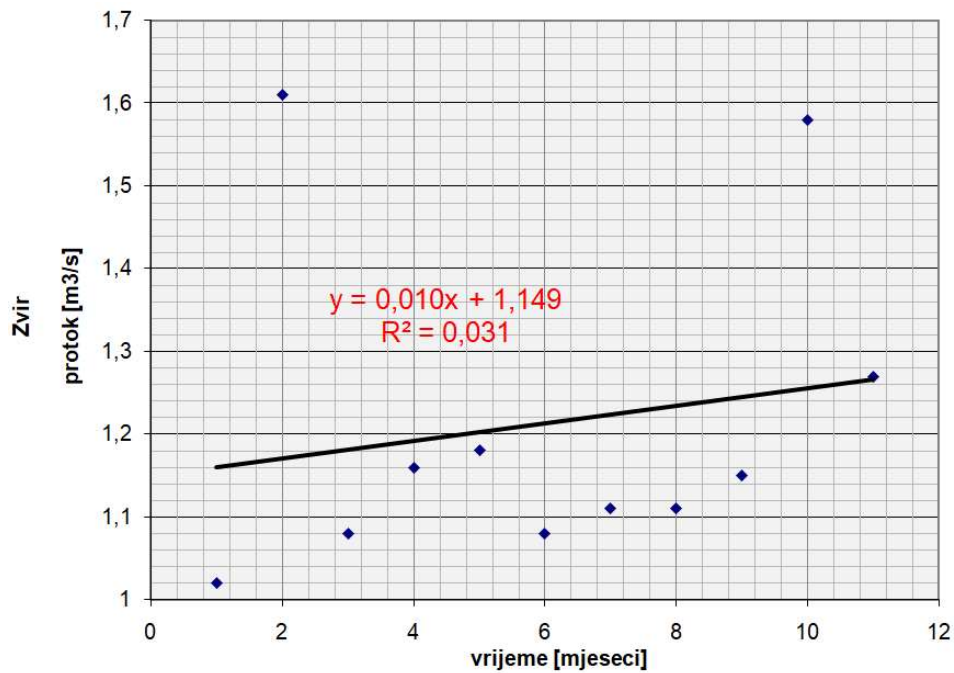


Slika 10: Korelacija minimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu svibanju



Martinščica

Slika 11: Korelacija minimalnih mjesečnih protoka Martinščice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu lipnju



Martinščica

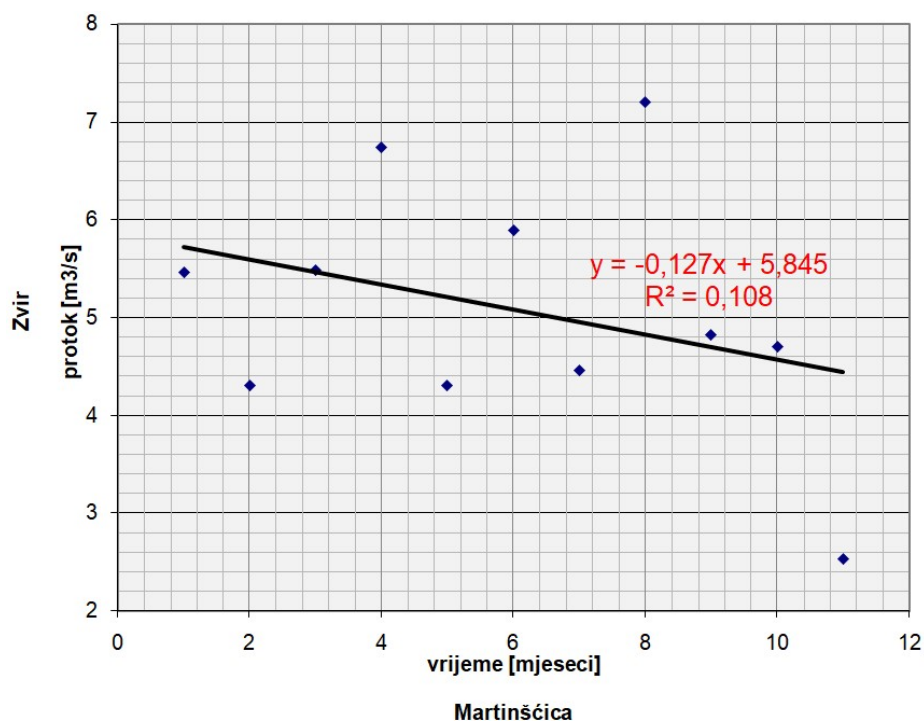
Slika 12: Korelacija minimalnih mjesečnih protoka Martinščice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu srpnju

Tablica 2: nadopuna nedostajućih minimalnih protoka 1984. godine

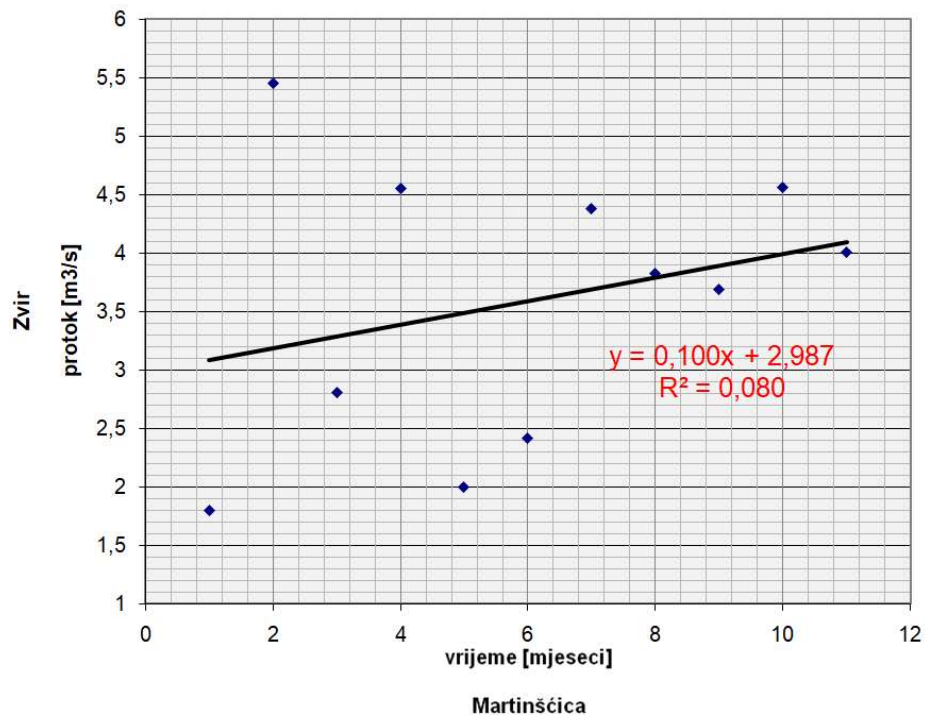
godina	Martinšćica	Zvir	Martinšćica	Zvir	Martinšćica	Zvir
	minimalni protoci m <sup>3</sup> /s					
	svibanj		lipanj		srpanj	
1979	0.208	2,32	0.056	1,46	0.056	1,02
1980	0.272	3,18	0.156	2,99	0.272	1,61
1981	0.446	3,34	0.372	1,8	0.115	1,08
1982	0.305	2,61	0.305	2,57	0.115	1,16
1983	0.305	2,69	0.195	1,38	0.024	1,18
1984	0.623	3	0.372	2,1	0.115	1,2
1985	0.350	2,73	0.350	1,71	0.024	1,08
1986	0.208	2,28	0.208	2,26	0.012	1,11
1987	0.628	3,98	0.370	2,02	0.087	1,11
1988	0.370	3,23	0.303	2,1	0.010	1,15
1989	0.370	2,32	0.303	2,22	0.245	1,58
1990	0.553	1,43	0.553	1,59	0.056	1,27

Kao što je vidljivo iz prethodnih slika koeficijent determinacije je nizak, tj. vrijednost mu se približava nuli. Istoimeni koeficijent nam otkriva informaciju o tome koliko je jačina funkcijske veze između dva promatrana izvora, u ovim slučajevima ona je slaba.

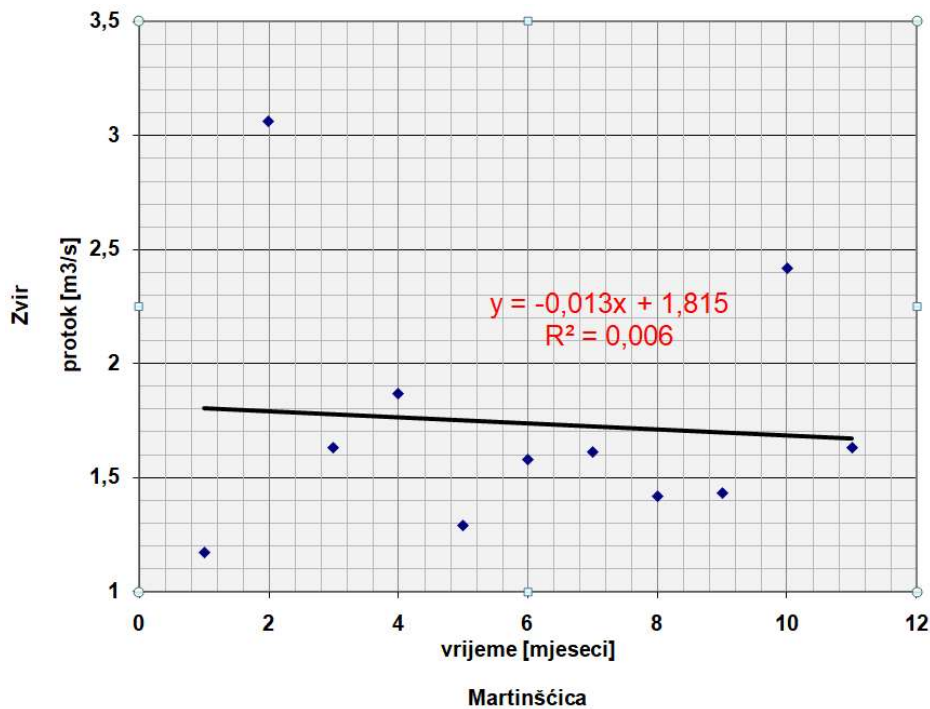
Nadalje su nadopunjavani nedostajući podaci o srednjim mjesečnim protocima (tablica 3) unutar 1984. godine. Grafovi su prikazani slikama 13,14 i 15.



Slika 13: Korelacija srednjih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu svibnju



Slika 14: Korelacija srednjih mjesečnih protoka Martinsčice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu lipnju

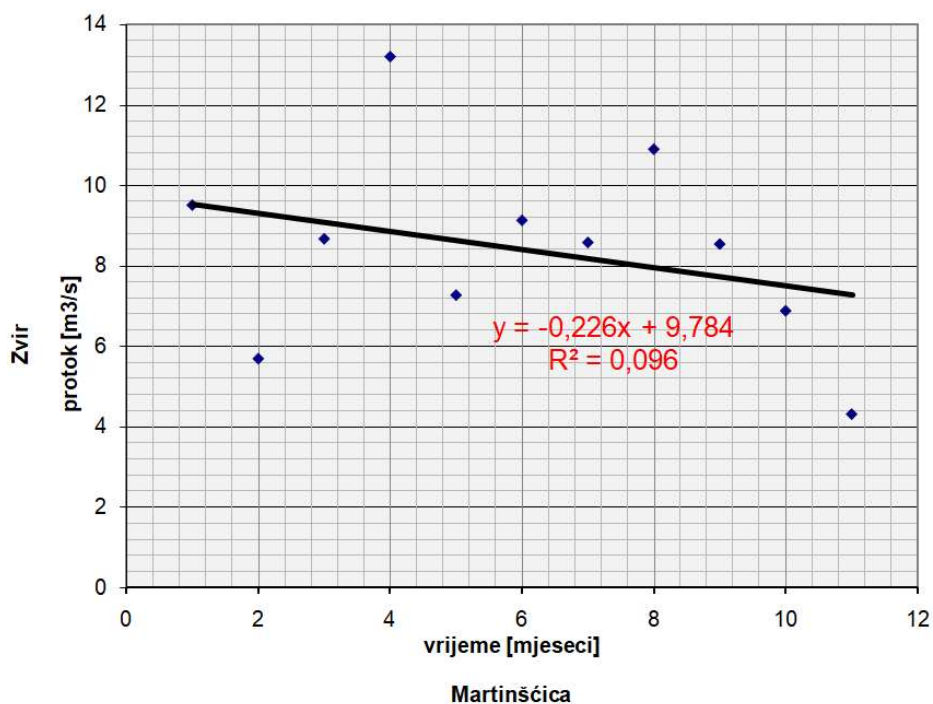


Slika 15: Korelacija srednjih mjesečnih protoka Martinsčice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu srpnju

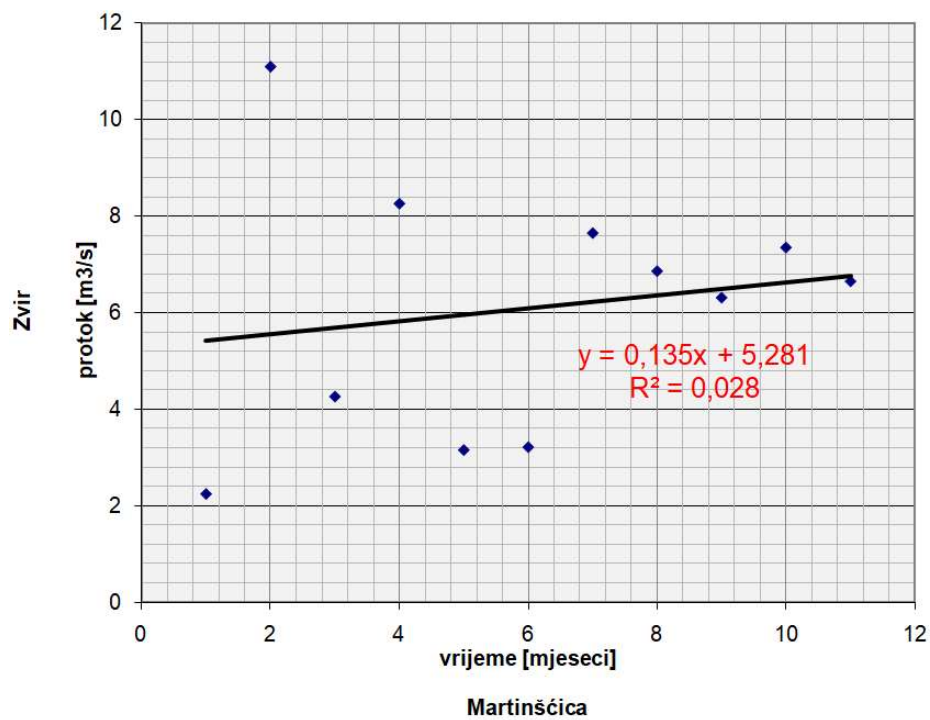
Tablica 3: nadopuna nedostajućih srednjih protoka 1984. godine

	Martinšćica	Zvir	Martinšćica	Zvir	Martinšćica	Zvir
godina	srednji protoci m3/s					
	svibanj		lipanj		srpanj	
1979	0.934	5,46	0.158	1,8	0.066	1,17
1980	0.388	4,31	0.362	5,45	0.757	3,06
1981	2.65	5,48	0.561	2,81	0.364	1,63
1982	1.75	6,74	0.892	4,55	0.238	1,87
1983	0.483	4,31	0.309	2	0.066	1,29
1984	1.38	5,7	2.86	3,3	0.358	1,8
1985	1.40	5,89	0.428	2,42	0.243	1,58
1986	1.07	4,46	0.676	4,38	0.170	1,61
1987	2.60	7,2	0.639	3,83	0.173	1,42
1988	0.541	4,82	0.482	3,69	0.126	1,43
1989	0.646	4,7	0.538	4,56	0.437	2,42
1990	0.595	2,53	1.00	4,01	0.296	1,63

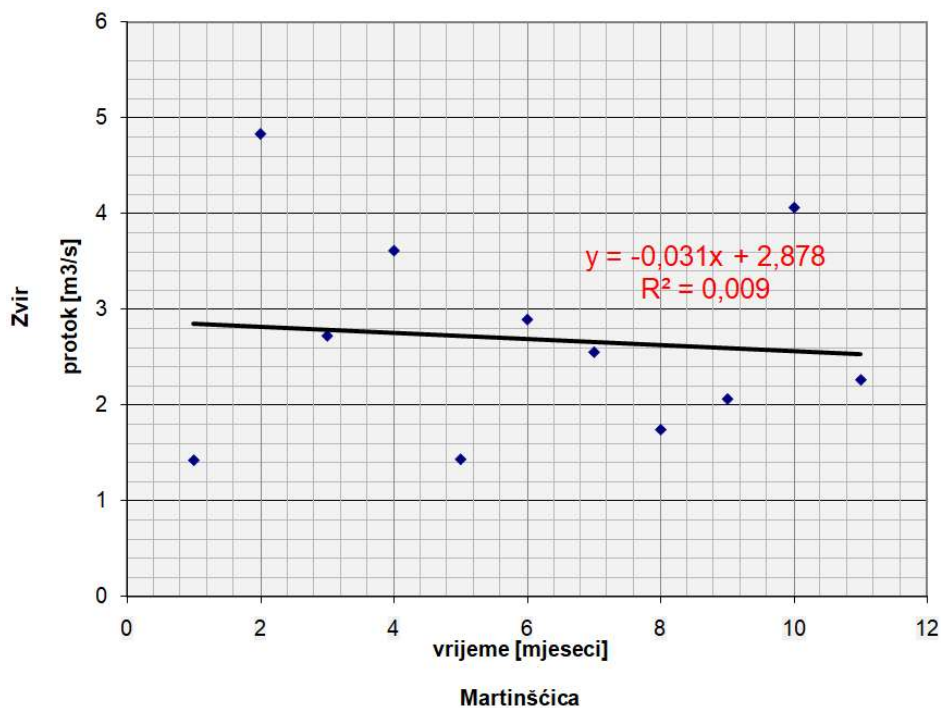
Naposljetku su se nadomjestili maksimalni mjesečni protoci (tablica 4) 1984.godine. Grafovi su prikazani slikama 16,17 i 18.



Slika 16: Korelacija maksimalnih mjesečnih protoka Martinšćice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu svibnju



Slika 17: Korelacija maksimalnih mjesečnih protoka Martinščice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu lipnju



Slika 18: Korelacija maksimalnih mjesečnih protoka Martinščice i Zvira za razdoblje 1979.-1990. po mjesecu srpnju

Tablica 4: nadopuna nedostajućih maksimalnih protoka 1984. godine

godina	Martinšćica	Zvir	Martinšćica	Zvir	Martinšćica	Zvir
	maksimalni protoci m <sup>3</sup> /s					
	svibanj		lipanj		srpanj	
1979	2.70	9,51	0.208	2,24	0.115	1,42
1980	0.553	5,69	0.833	11,1	1.21	4,83
1981	6.53	8,67	1.09	4,26	0.725	2,72
1982	4.40	13,2	3.55	8,26	0.305	3,61
1983	0.725	7,27	0.446	3,15	0.246	1,43
1984	4.83	8,7	5.68	6,0	0.530	2,9
1985	2.91	9,13	0.682	3,21	0.682	2,89
1986	2.91	8,58	1.63	7,65	0.443	2,55
1987	15.7	10,9	1.60	6,86	0.370	1,74
1988	1.13	8,54	0.854	6,31	0.370	2,06
1989	1.46	6,88	0.628	7,35	0.532	4,06
1990	0.682	4,31	1.85	6,65	0.553	2,26

Gore prikazani grafovi prikazuju nam veoma loše korelacijske veze između obrađenih podataka na izvorima Martinšćice i Zvira. Koeficijenti determinacije su niski, stoga je svuda primijenjena linearna funkcija za povezivanje srednjih mjesečnih protoka dvaju izvora.

## 5.2. Usporedba godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica

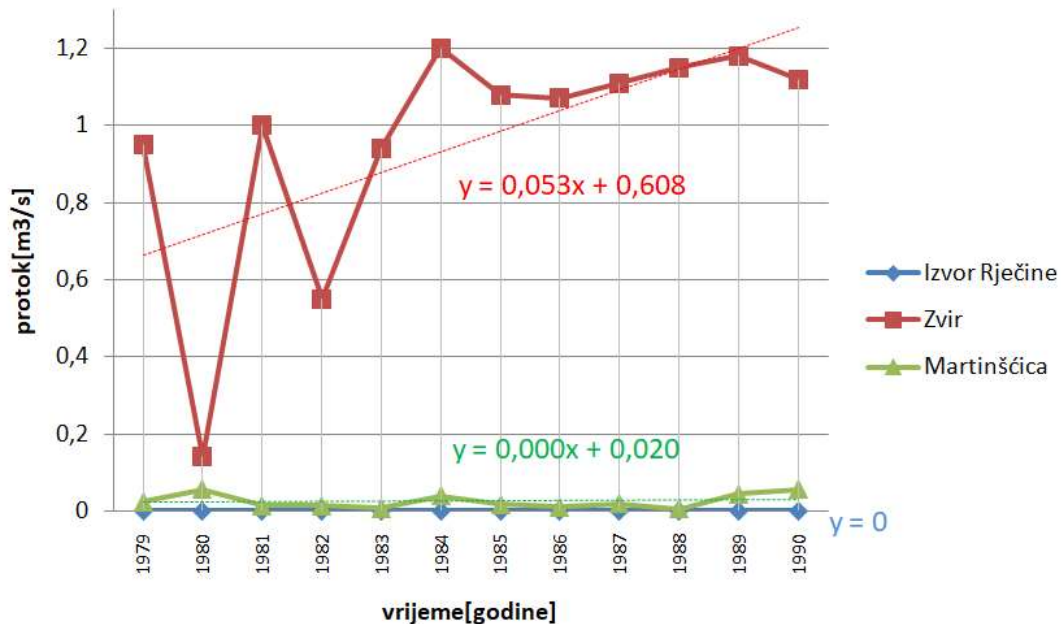
Dobivenim protoci (tablica 2, 3 i 4) bili su temelj za nastavak analize i usporedbe triju navedenih izvora. Tako su se za potrebe ovog rada nadalje uspoređivali godišnji (minimalni, srednji i maksimalni) protoci na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica.

U tablici 5 dane su vrijednosti minimalnih, maksimalnih te srednjih godišnjih protoka (m<sup>3</sup>/s) za svaku spomenutu godinu analiziranog vremenskog razdoblja.

Tablica 5: Karakteristični godišnji protoci Izvora Rječine, Zvira i Martinšćice između 1979.-1990.

	Izvor Rječine	Martinšćica	Zvir	Izvor Rječine	Martinšćica	Zvir	Izvor Rječine	Martinšćica	Zvir
God	Maksimalni godišnji protoci m <sup>3</sup> /s			Srednji godišnji protoci m <sup>3</sup> /s			Minimalni godišnji protoci m <sup>3</sup> /s		
1979	54,90	7,60	20,30	9,81	2,32	6,09	0,00	0,02	0,95
1980	39,10	8,88	15,40	6,28	1,71	4,70	0,00	0,06	0,14
1981	35,80	9,30	16,20	6,18	1,64	4,15	0,00	0,01	1,00
1982	45,90	7,39	17,70	7,99	1,62	5,19	0,00	0,01	0,55
1983	59,00	5,47	14,00	4,55	0,82	3,79	0,00	0,01	0,94
1984	44,50	6,75	15,80	8,14	1,78	5,53	0,00	0,04	1,20
1985	54,40	5,90	17,00	5,84	1,06	4,07	0,00	0,02	1,08
1986	42,70	5,47	13,20	5,29	1,09	4,26	0,00	0,01	1,07
1987	44,50	15,70	18,00	7,16	1,32	5,03	0,00	0,02	1,11
1988	36,40	5,26	12,40	6,31	0,95	4,79	0,00	0,01	1,15
1989	37,70	3,93	11,00	5,20	0,63	3,96	0,00	0,04	1,18
1990	43,30	6,32	11,10	5,23	1,46	3,95	0,00	0,06	1,12

Na slikama 19, 20 i 21 pokazani su grafovi godišnjih protoka ovih izvora, te njihova usporedba: redom minimalnih, maksimalnih, te naposljetku srednjih protoka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Krivulje imaju priložene i trendove kojima se uočava opadanje ili rast protoka promatranog izvora tijekom analiziranog zajedničkog razdoblja obrade.

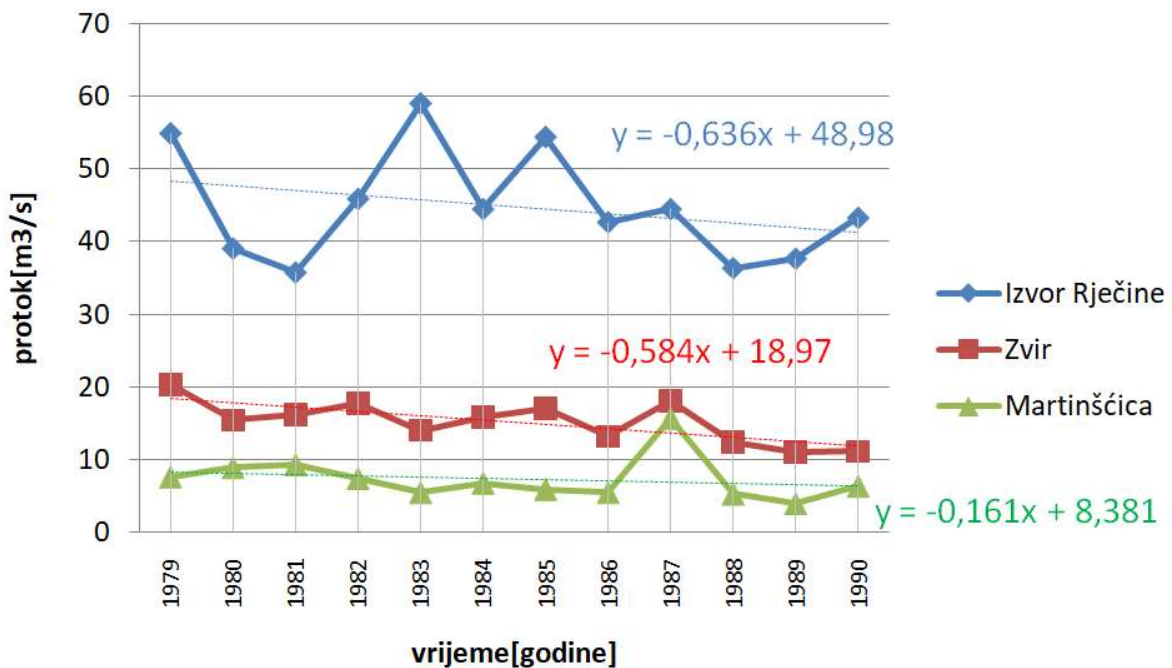


Slika 19: Usporedba minimalnih godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica

Iako je Izvor Rječine daleko najizdašniji među promatranim izvorima, redovito svake godine presuši, kako je navedeno ranije. To se lijepo vidi analizom ovih podataka i zaključuje gornjim grafom. Upravo ovaj graf prikazuje nezamjenjivu ulogu izvora Zvir, te u manjoj mjeri, ali isto vrijednog izvorišta Martinšćica.

Vidljivo je da Zvir nikada ne presušuje, ima trend minimalnih godišnjih protoka s pozitivnim predznakom, odnosno minimalni protoci su rastući. Od 1984.- 1990. godine, isti protoci nisu pali ispod  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .





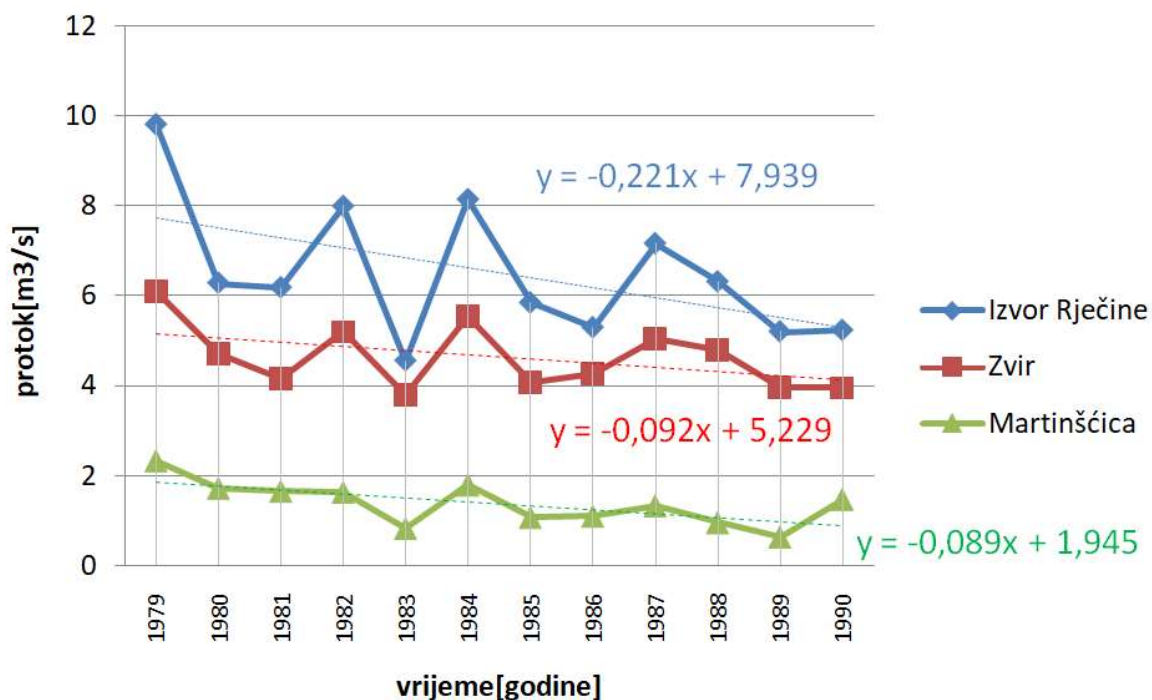
Slika 20: Usporedba maksimalnih godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinščica

Usporedba maksimalnih godišnjih protoka (slika 19) ukazuje nam na značajno veće protoke Izvora Rječine naspram ostalih dvaju izvora. Izvor Rječine 1983. je dosegnuo  $59 \text{ m}^3/\text{s}$ , te tako ostvario svoj maksimum unutar ovog promatranog razdoblja. Zvir i Martinščica svoj maksimum u ovom razdoblju dosegli su 1987. godine koji iznosi  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ , odnosno  $15,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Vrijedi napomenuti da su prikazani maksimalni godišnji protoci relativno niski, ako se razmatraju i velike količine palih oborina na promatranom slivu. Ova pojava objašnjava se ograničenjem preljevniha kapacita krških izvora (Bonacci, 2001.).

Također se uočava i opadanje trenda izvora, no najveći pad je na Izvoru Rječine. Jedan od razloga opadanja vrijednosti protoka, zasigurno se skriva u opadanju količina oborina.

Nadalje nam slika 21 otkriva zanimljivije podatke ovog poglavlja, a to su usporedbe srednjih godišnjih protoka.



Slika 21: Usporedba srednjih godišnjih protoka na izvorima: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica

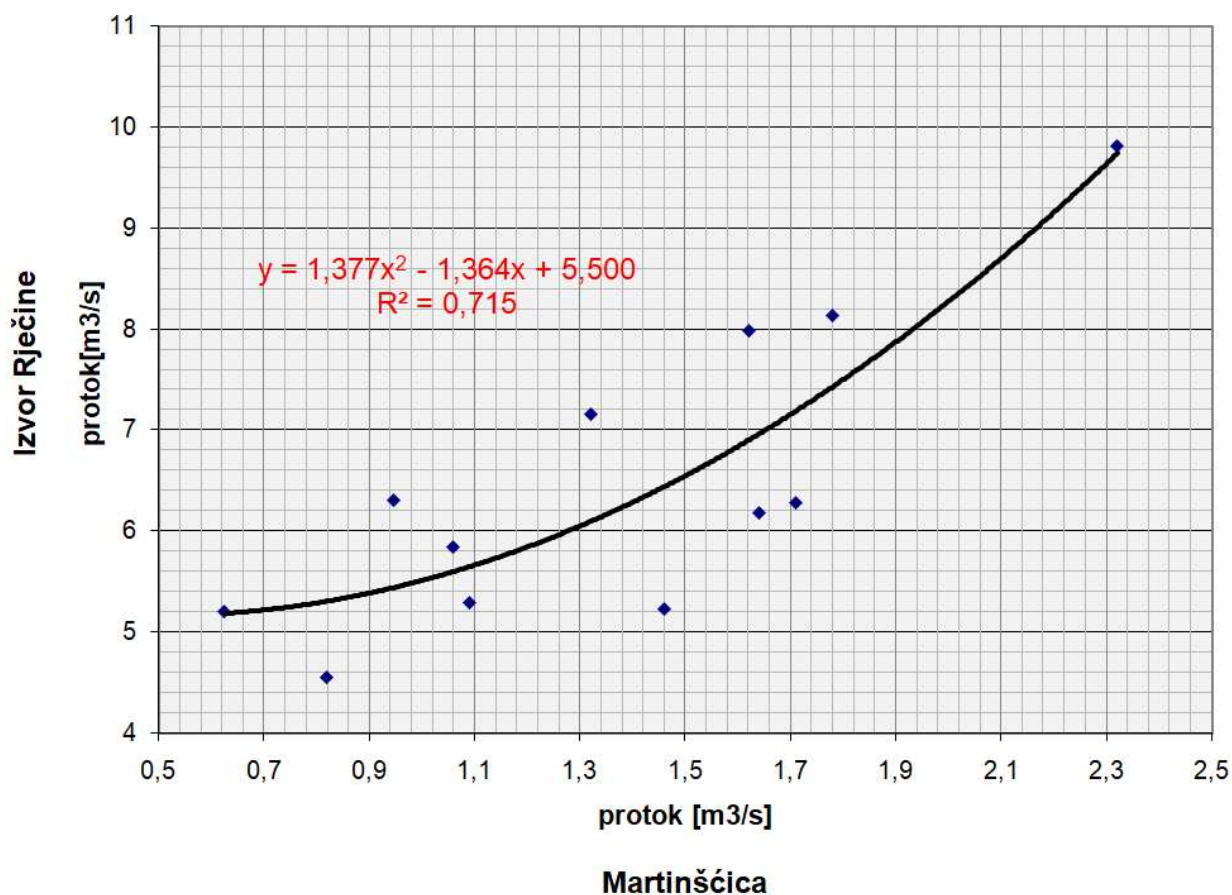
Prosječni srednji godišnji protok unutar promatranog razdoblja Izvora Rječine iznosi  $6,50 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok na izvoru Zvir iznosi  $4,63 \text{ m}^3/\text{s}$ , te na izvorištu Martinšćica  $1,37 \text{ m}^3/\text{s}$ . Uočava se lagano opadanje trend linije kod Martinšćice i Zvira, te izuzetno strmu linearnu funkciju, koja prikazuje veliki pad protoka kod najizdašnijeg izvora, Izvora Rječine. Posljedica takvih rezultata, zasigurno je većim dijelom, posljedica zahvaćanja vode izvora. Isto tako trend zasigurno opada pod utjecajem klimatskih promjena ali i okolišnim promjenama u Riječkom slivu (Bonacci i drugi 2017).

### 5.3. Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka

Pomoću tablice 5, nadalje se u ovom radu provela regresijska analiza srednjih godišnjih protoka na gore navedena tri izvora. Ovim dijelom rada, pomoću koeficijenta determinacije razabrat ćemo međusobni odnos između svakog pojedinog od ova 3 izvora.

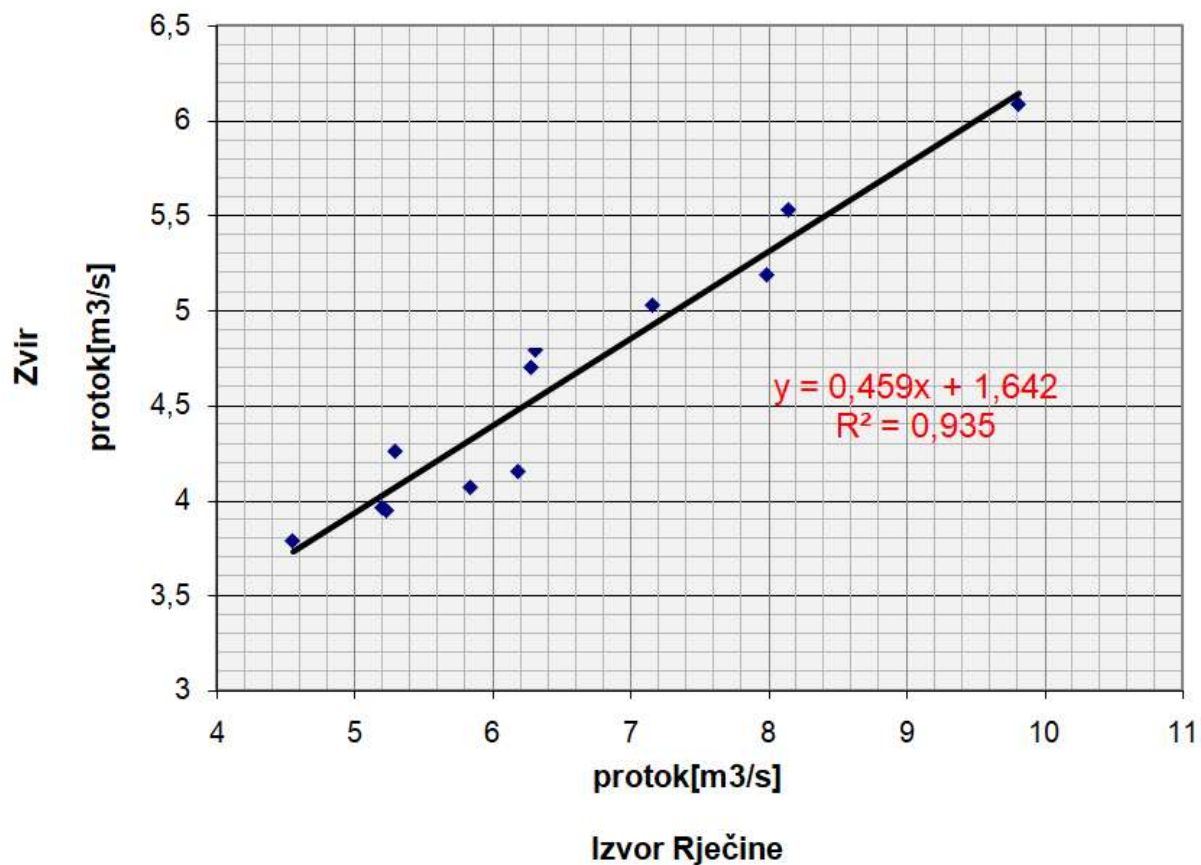
Međuovisnost godišnjih srednjih protoka ocjenjen je prema Chadockovoj ljestvici (tablica 1).

Krivulje su prikazane na sljedećim slikama (slika 22, 23 i 24).



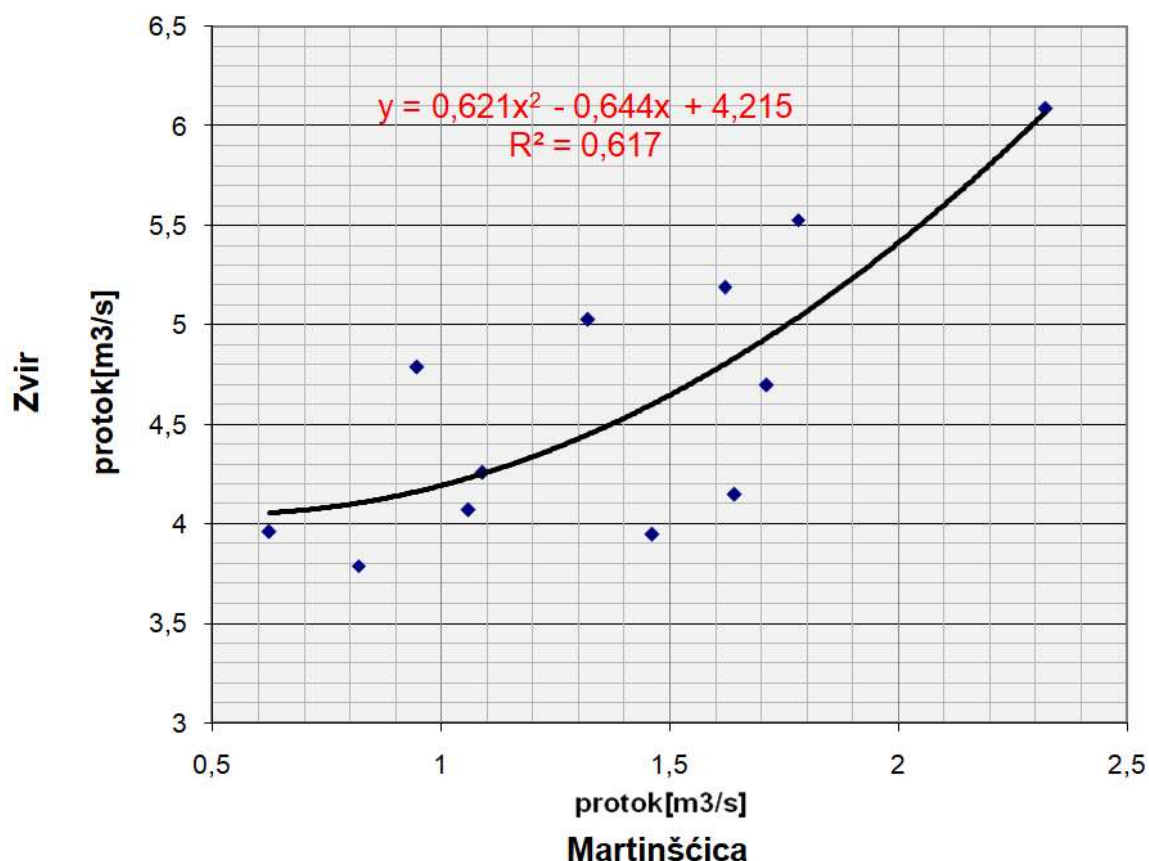
Slika 22: Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka Izvora Rječine i Martinšćice

Gornji graf opisan je polinomnom funkcijom drugog stupnja, te koeficijent determinacije iznosi 0,715. prema Chadockovoj ljestvici međuodnos Martinšćice i Izvora Rječine još uvijek spada u kategoriju čvrste veze.



Slika 23: Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka Izvora Rječine i Zvir

Gornji graf opisan je odgovarajućom linearnom funkcijom, te koeficijent determinacije iznosi 0,935. Prema tome zaključujemo da Izvor Rječine i izvor Zvir imaju čvrstu vezu. Ta veza je ujedno i najjača između promatranih izvora.



Slika 24: Regresijska analiza srednjih godišnjih protoka izvorišta Martinšćica i izvora Zvir

Gornji graf opisan je polinomnom funkcijom, te koeficijent determinacije iznosi 0,617. Veza između Martinšćice i Zvira prema Chadocku spada pod srednju jakost, ujedno je i najslabija veza među promatranim vezama.

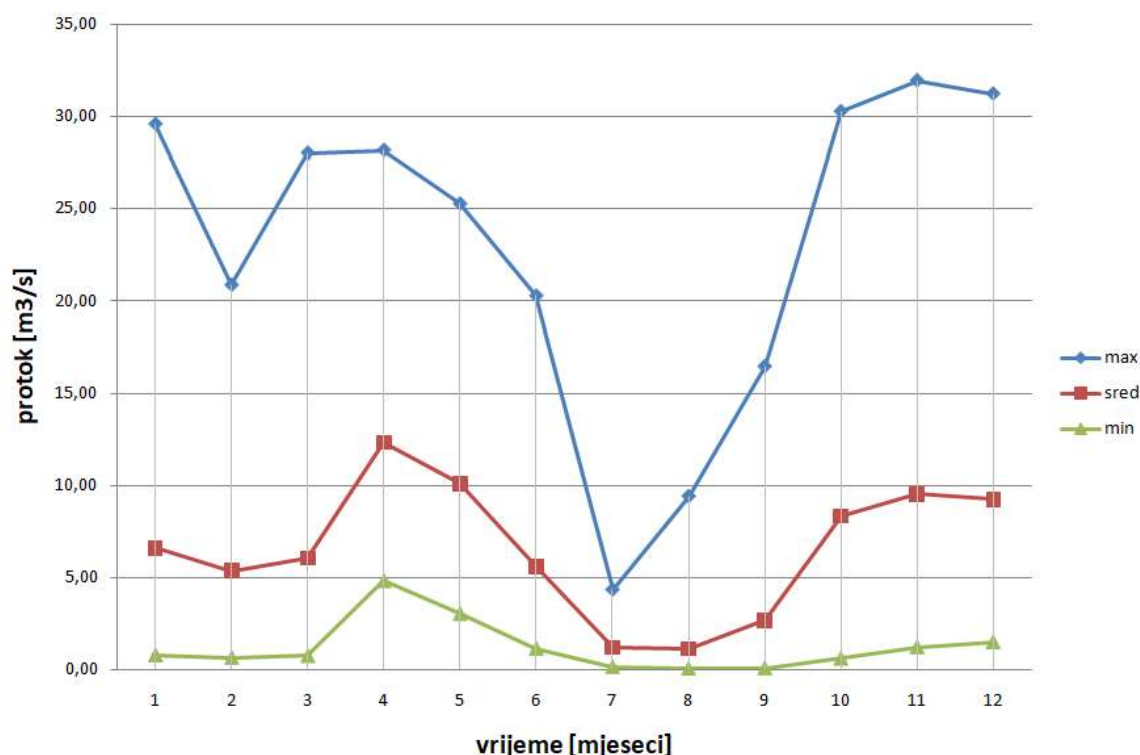
Prethodno smo ovu vezu primijenili za nadopunu nedostajućih podataka na izvoru Zvir, te smo već tada prema koeficijentu determinacije mogli pretpostaviti slabiju vezu. Ovim podatkom zamjećujemo da nadopunjeni podaci na Zviru nisu najtočniji, no za naše potrebe su zadovoljavajući te se opravdava njihovo korištenje prilikom analize i usporedbe izvora.

#### 5.4. Karakteristične vrijednosti mjesečnih protoka

Analizom mjesečnih podataka tablicama i grafovima, pokazane su unutargodišnje vrijednosti između 1979. i 1990. godine. Podaci su sortirani po mjesecima, te su tablicama 6, 7 i 8 dane mjesečne količine protoka na promatranim izvorima sa određenim statističkim karakteristikama. Dana je standardna devijacija (st dv), koja prikazuje prosječno odstupanje od prosječnih vrijednosti niza, isto tako koeficijent varijacije (cv), koji je rezultat odnosa standardne devijacije i aritmetičke sredine. Grafovima, na slikama 25, 26 i 27 uspoređeni su karakteristični protoci svakog pojedinog izvora.

Tablica 6: Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesečnih protoka na Izvoru Rječine

Karakteristične vrijednosti mjesečnih protoka na Izvoru Rječine (1979.-1990.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Maksimalni protoci													
Max	54,90	38,40	59,00	39,10	40,30	39,10	11,40	20,90	44,50	43,30	44,50	45,90	59,00
Sred	29,58	20,90	28,02	28,17	25,31	20,31	4,34	9,42	16,47	30,27	31,94	31,22	44,85
Min	0,59	1,03	7,73	18,90	5,52	3,20	1,03	0,00	0,00	0,00	2,56	21,90	35,80
st dv	17,60	13,60	12,62	6,96	10,46	9,23	3,43	7,66	12,59	13,95	12,96	7,57	7,29
cv	0,60	0,65	0,45	0,25	0,41	0,45	0,79	0,81	0,76	0,46	0,41	0,24	0,16
Srednji protoci													
Max	17,30	18,40	15,40	16,00	17,30	10,70	3,78	3,33	7,74	17,40	17,30	21,70	9,81
Sred	6,59	5,36	6,02	12,32	10,09	5,58	1,16	1,12	2,65	8,33	9,52	9,23	6,50
Min	0,06	0,45	0,80	6,10	1,26	1,13	0,15	0,00	0,00	0,00	0,81	4,73	4,55
st dv	4,72	4,91	3,94	2,96	4,43	2,48	0,99	1,13	2,29	5,12	5,38	4,59	1,46
cv	0,72	0,92	0,65	0,24	0,44	0,44	0,85	1,01	0,86	0,61	0,56	0,50	0,22
Minimalni protoci													
Max	2,45	3,25	3,01	7,10	6,48	2,45	1,03	0,59	0,59	2,76	3,31	4,39	0,00
Sred	0,77	0,64	0,73	4,80	3,02	1,13	0,15	0,05	0,07	0,60	1,22	1,49	0,00
Min	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
st dv	0,86	0,96	1,01	2,02	1,72	0,77	0,32	0,16	0,18	0,90	1,07	1,21	0,00
cv	1,12	1,49	1,37	0,42	0,57	0,68	2,19	3,32	2,38	1,50	0,88	0,81	0,00

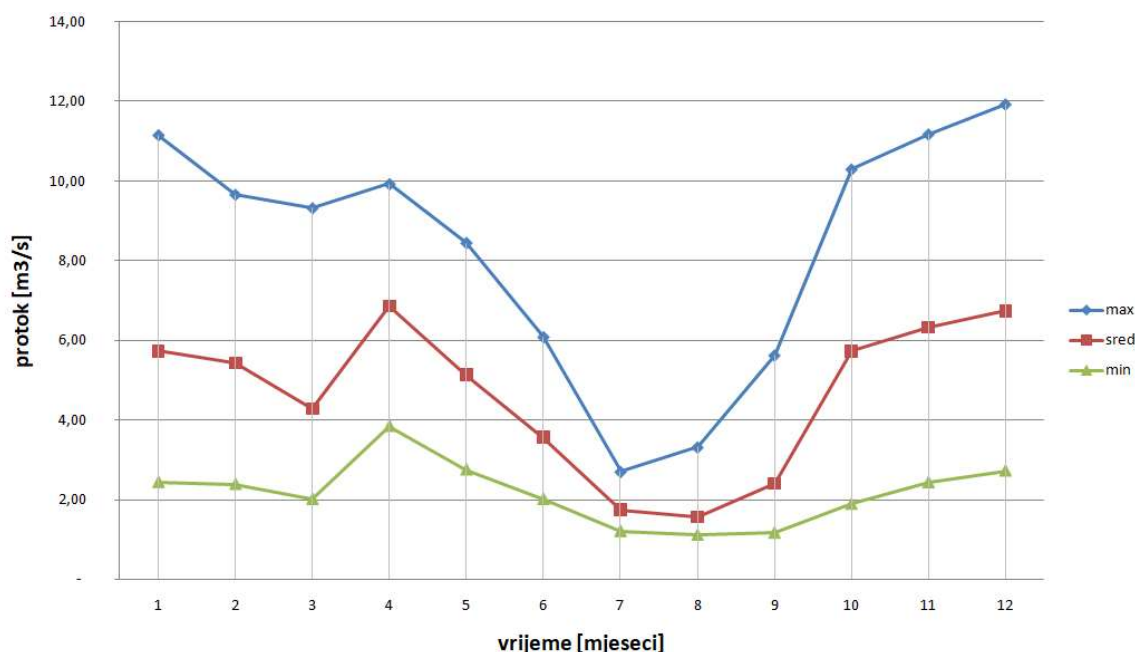


Slika 25: Odnos karakterističnih mjesečnih protoka na Izvoru Rječine za razdoblje 1979.-1990.

Iz tablice 6, odnosno iz slike 25, vidljiva je unutargodišnja promjena vodostaja po mjesecima za promatrano razdoblje. Izvor Rječine presušuje u ljetnim mjesecima, također su niske vrijednosti protoka u prva tri mjeseca godine. To nam ukazuje na usku povezanost protoka sa količinom padalina. Krivulja maksimalnih vrijednosti vrlo je promjenjiva, slično je vidljivo i kod krivulje srednjih vrijednosti, samo u manjoj mjeri. Krivulje ukazuju na velike oscilacije protoka te na nepredvidivost istjecanja. Standardna devijacija maksimalnih protoka višestruko je veća od ostalih standardnih devijacija, što ukazuje na veliku raspršenost maksimalnih protoka.

Tablica 7: Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesečnih protoka na izvoru Zvir

Karakteristične vrijednosti mjesečnih protoka na izvoru Zvir (1979.-1990.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Maksimalni protoci													
Max	20,20	20,30	15,20	13,60	13,20	11,10	4,83	11,80	15,80	16,20	18,00	17,70	20,30
Sred	11,15	9,66	9,32	9,93	8,45	6,09	2,71	3,32	5,63	10,29	11,17	11,93	15,18
Min	1,58	2,40	5,15	5,04	4,31	2,24	1,42	1,29	1,34	1,39	4,37	6,60	11,00
st dv	4,61	4,38	3,13	2,63	2,22	2,41	1,00	2,88	4,14	4,73	3,40	3,12	2,78
cv	0,41	0,45	0,34	0,27	0,26	0,40	0,37	0,87	0,74	0,46	0,30	0,26	0,18
Srednji protoci													
Max	12,00	14,50	7,71	11,30	7,20	5,45	3,06	2,37	4,97	10,70	9,53	13,20	6,09
Sred	5,73	5,43	4,29	6,86	5,13	3,57	1,74	1,57	2,41	5,73	6,33	6,73	4,63
Min	1,33	1,51	1,96	4,03	2,53	1,80	1,17	1,12	1,26	1,21	2,33	3,70	3,79
st dv	2,75	3,44	1,70	2,06	1,18	1,08	0,50	0,42	1,24	2,97	2,49	2,28	0,69
cv	0,48	0,63	0,40	0,30	0,23	0,30	0,29	0,27	0,51	0,52	0,39	0,34	0,15
Minimalni protoci													
Max	4,25	4,57	3,69	7,95	3,98	2,99	1,61	1,27	2,10	5,11	4,43	5,10	1,20
Sred	2,45	2,39	2,02	3,85	2,76	2,02	1,21	1,12	1,17	1,90	2,44	2,73	0,96
Min	1,24	1,13	1,03	0,14	1,43	1,38	1,02	0,95	0,55	0,97	1,08	1,51	0,14
st dv	0,88	1,03	0,84	1,91	0,63	0,45	0,18	0,10	0,34	1,16	1,08	0,87	0,30
cv	0,36	0,43	0,42	0,50	0,23	0,22	0,15	0,09	0,29	0,61	0,44	0,32	0,31

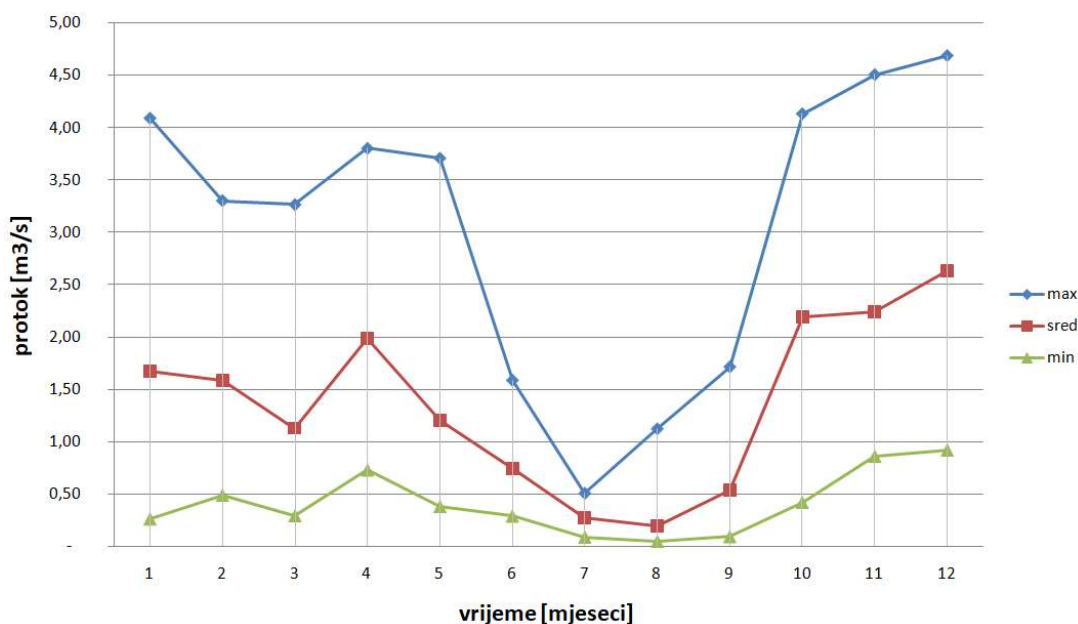


Slika 26: Odnos karakterističnih mjesečnih protoka na izvoru Zvir za razdoblje 1979.-1990.

Izvor Zvir vidljivo ne presušuje, što mu omogućuje vodoopskrbu tokom cijele godine. Prikazane krivulje vrijednosti međusobno se približavaju za vrijeme ljetnih mjeseci što je povezano s smanjenjem protoka, samim time i količinom oborina. To nam potvrđuje i standardna devijacija.

Tablica 8: Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesečnih protoka na izvorištu Martinšćica

Karakteristične vrijednosti mjesečnih protoka na izvorištu Martinšćice (1979.-1990.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Maksimalni protoci													
Max	6,11	6,53	6,11	6,11	15,70	5,68	1,21	9,30	5,26	8,88	7,60	7,39	15,70
Sred	4,09	3,31	3,27	3,81	3,71	1,59	0,51	1,12	1,72	4,14	4,51	4,69	7,33
Min	0,15	0,31	0,68	1,85	0,55	0,21	0,12	0,04	0,21	0,35	0,31	1,13	3,93
st dv	1,97	2,16	1,71	1,49	4,04	1,50	0,27	2,47	1,76	2,81	2,55	1,68	2,92
cv	0,48	0,65	0,52	0,39	1,09	0,94	0,53	2,20	1,02	0,68	0,56	0,36	0,40
Srednji protoci													
Max	4,36	5,62	3,76	4,27	2,65	2,86	0,76	0,82	1,67	4,61	4,74	6,07	2,32
Sred	1,67	1,58	1,13	1,99	1,20	0,74	0,27	0,19	0,53	2,19	2,24	2,63	1,37
Min	0,10	0,15	0,32	0,74	0,39	0,16	0,07	0,02	0,05	0,04	0,16	0,48	0,63
st dv	1,11	1,54	0,90	1,00	0,75	0,68	0,18	0,21	0,49	1,68	1,57	1,60	0,46
cv	0,66	0,97	0,80	0,50	0,63	0,91	0,67	1,06	0,91	0,77	0,70	0,61	0,34
Minimalni protoci													
Maks	0,83	2,91	0,83	2,49	0,63	0,55	0,27	0,21	0,30	2,06	3,55	3,77	0,06
Sred	0,27	0,49	0,30	0,74	0,39	0,30	0,09	0,05	0,10	0,43	0,87	0,92	0,03
Min	0,01	0,04	0,06	0,35	0,21	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,12	0,04	0,01
st dv	0,24	0,74	0,19	0,56	0,14	0,12	0,08	0,05	0,11	0,56	1,22	1,04	0,02
cv	0,89	1,51	0,65	0,76	0,36	0,42	0,88	1,02	1,08	1,32	1,41	1,12	0,72



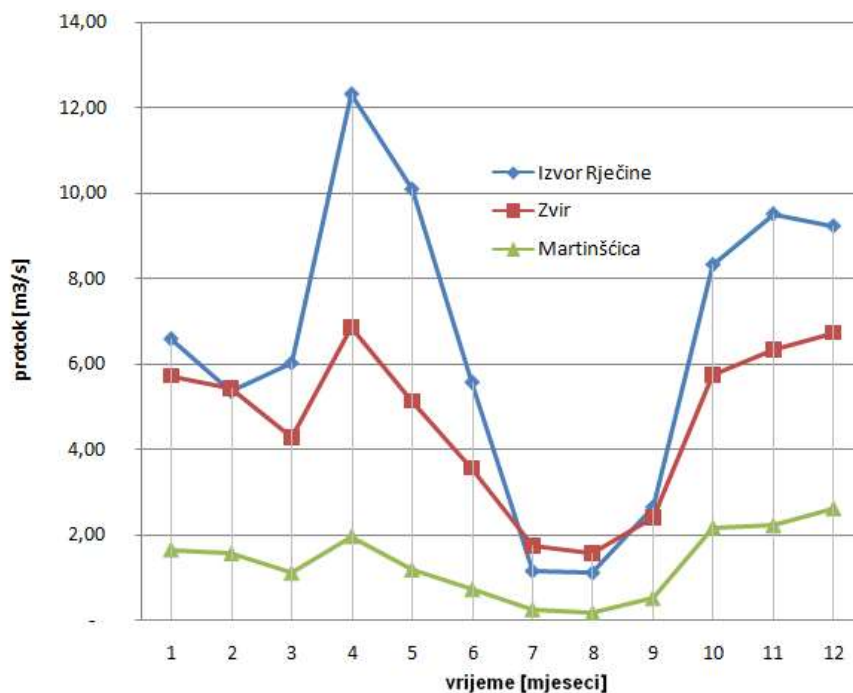
Slika 27: Odnos karakterističnih mjesečnih protoka na izvorištu Martinšćica za razdoblje 1979.-1990.

Izvorište Martinšćica također ne presušuje, no vrlo je blizu presušenju u ljetnim mjesecima.

Standarna devijacija Martinšćice najmanja je gotovo svakoga mjeseca u svim karakterističnim protocima, uspoređujući je s Izvorom Rječine i Zvirom. Podatak nam ukazuje da su najmanja odstupanja prosječnih vrijednosti protoka upravo na tom izvoru, dok je isti statistički podatak najčešće najveći kod Izvora Rječine. Uočava se također međusobna povezanost promatranih izvora, to je bilo i očekivano uzmemo li u obzir da se nalaze u istome slivu, te su na relativno maloj međusobnoj udaljenosti.

Naposljetku je na slici 28 prikazana usporedba srednjih vrijednosti protoka analiziranih izvora.





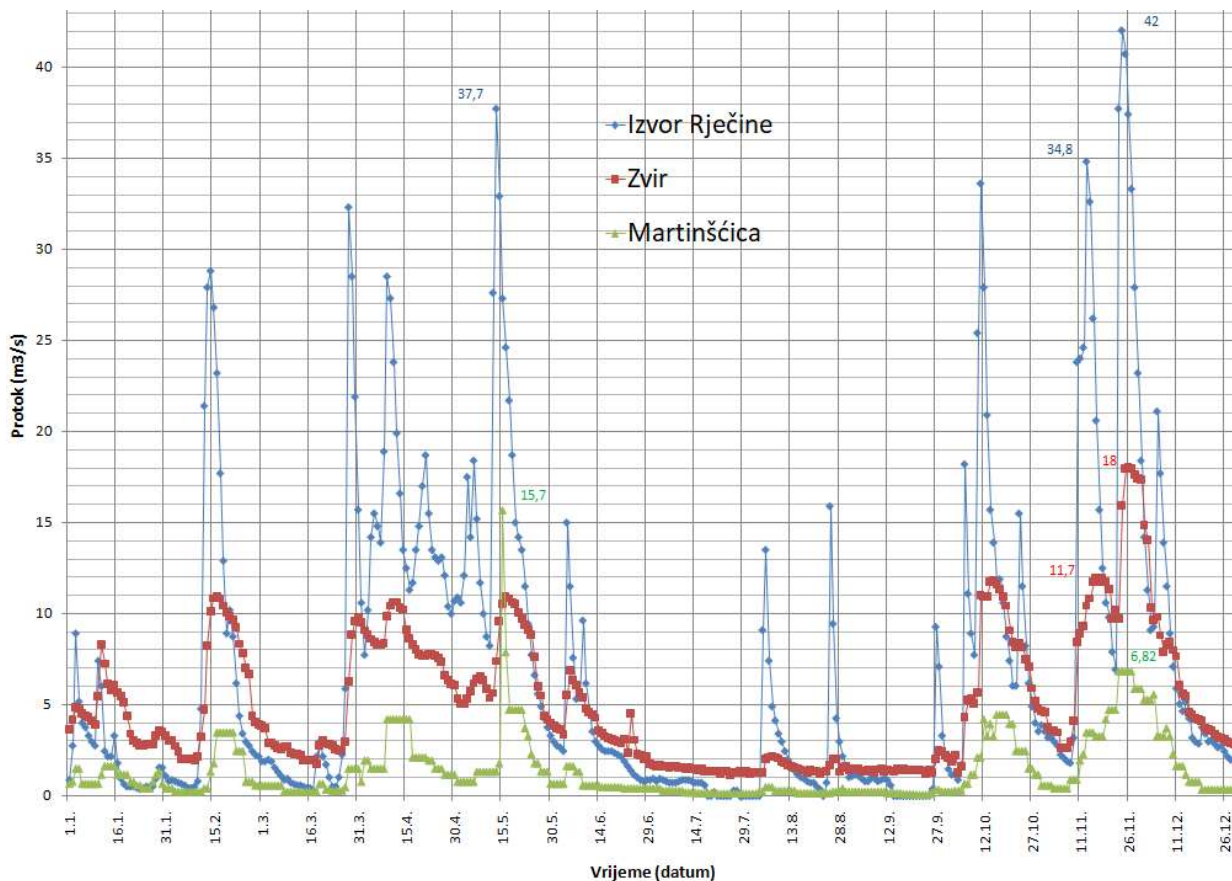
Slika 28: Usporedni prikaz srednjih mjesečnih protoka analiziranih izvora

Grafom se uočitavaju zanimljive vrijednosti. Prvi pogled iznenađuje, osobito isprepletanje krivulje Izvora Rječine i Zvira. Iako Izvor Rječine većim dijelom godine ima najveće protoke, Zvir i tih mjeseci ispunja očekivanja, te ne zaostaje mnogo za Izvorom Rječine. Napose vrijedi napomenuti srpanj i kolovoz u kojima Zvir ima najveće protoke među analiziranim izvorima.

Izvori dosežu svoj maksimum u travnju kada su im protoci redom: 12,32 m<sup>3</sup>/s; 6,86 m<sup>3</sup>/s; odnosno 1,13 m<sup>3</sup>/s. Isto tako, promatrani izvori minimum ostvaruju u kolovozu, kada im protoci iznose redom: 1,12 m<sup>3</sup>/s; 1,57 m<sup>3</sup>/s; te 0,19 m<sup>3</sup>/s na izvorištu Martinšćica.

## 5.5. Usporedba dnevnih vrijednosti protoka

Kao što je na početku ove cjeline navedeno, na korištenju pri izradi rada koristili su se i srednji dnevni protoci. Tim protocima naposljetku je izvršena usporedba ovih izvora. Slika 29 prikazuje srednje vrijednosti ovih izvora u svakom pojedinom danu 1987. godine. Priloženim grafom dobit će se okvirna slika, te lijep uvid u promjene protoka tokom godine.



Slika 29: Usporedba srednjih dnevnih protoka Izvora Rječine, Martinšćice i Zvira 1987. godine

Gornjim grafom uočavamo da postoji međusobna veza ovih izvora, što je zamijećeno i regresijskom analizom. Zaključujemo da su najveće vrijednosti protoka ovih izvora u studenom i prosincu, dok su srpanj i kolovoz mjeseci minimalnih protoka, ove godine je i rujan bio sušan, no rujan varira od godine do godine.

Također su uočljive konstantne oscilacije protoka, tokom svakog pojedinog dana unutar godine mogu se pojaviti različiti protoci, osobito na Izvoru Rječine. Takva promjenjivost ukazuje na zavisnost izvora o kratkotrajnim oborinama i razini podzemne vode (Bonacci i drugi, 2017.)

Nadalje detaljnijom analizom srednjih dnevnih protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990. izvršena je analiza koincidencije pojave karakterističnih maksimalnih i minimalnih protoka na promatranim izvorima. Izvor Rječine presušio je svake godine u ovom razdoblju, najčešće presuši u dva ili tri navrata. Najčešće presuši, okvirno gledano u drugoj polovici srpnja, te traje do kraja devetog mjeseca, ali sa povremenim istjecanjima. U ožujku je izvor presušio 1980., 1982., te 1984. godine, dok je 1989. Izvor Rječine presušio 46 dana u siječnju i veljači, iste godine više nije presušio. Prosječno za ovo razdoblje Izvor Rječine presuši 50 dana godišnje, 1988. presušio je minimalno, 27 dana, dok je 1983. presušio maksimalnih 90 dana.

Nakon presušivanja Rječine javljaju se najmanji protoci i na ostala dva izvora, izuzetak su 1985. i 1988. godina kada se na Zviru 5, odnosno 6 dana ranije javio minimalni protok te tako pretekao presušivanje Izvora Rječine. U prosjeku na Zviru se najmanji protok javlja 19 dana, dok se na Martinšćici prosječno javlja 16 dana po presušivanju Izvora Rječine.

Maksimalni protoci Zvira odstupaju samo 2 dana u prosjeku za Izvorom Rječine, dok se 1980. godine maksimalni protok Zvira javio u drugom intervalu oborina, nakon 4 mjeseca. Martinšćica je unutar promatranih 12 godina, čak 5 godina imala svoj maksimalni protok u drugom intervalu, dok se ostalih godina u prosjeku isti javio 4 dana nakon maksimalnog protoka Izvora Rječine.

Tablicama 9, 10 i 11, prikazane su vrijednosti učestalosti i trajanja kroz klasificirane razrede. Iste tablice prikazane su krivuljama na slikama 30 i 31. Ulazni podaci bili su srednji dnevni protoci za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.

Tablica 9: Trajanje i učestalost Izvora Rječine po razredima protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.

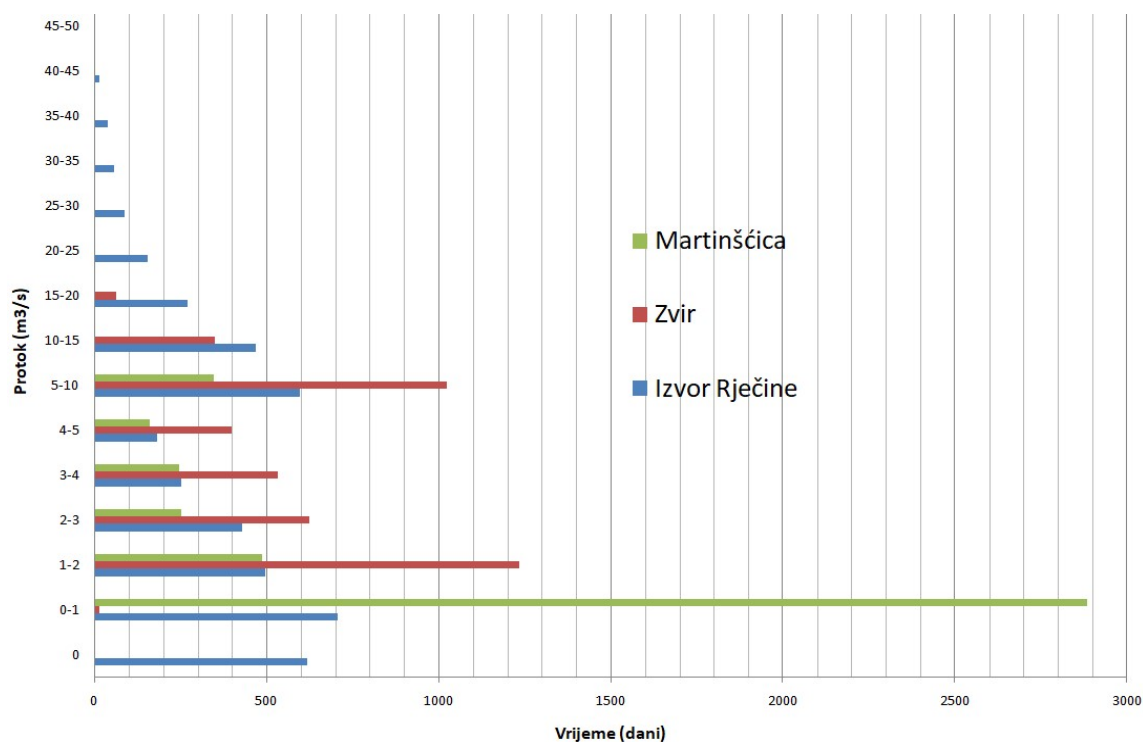
Izvor Rječine				
Razredi (m3/s)	Učestalost (dani)	Učestalost(%)	Trajanje (dani)	Trajanje (%)
0	619	14,14	4379	100
0-1	707	16,15	3760	85,86
1-2	497	11,35	3053	69,72
2-3	430	9,82	2556	58,37
3-4	253	5,78	2126	48,55
4-5	182	4,16	1873	42,77
5-10	597	13,63	1691	38,62
10-15	468	10,69	1094	24,98
15-20	271	6,19	626	14,30
20-25	154	3,52	355	8,11
25-30	88	2,01	201	4,59
30-35	58	1,32	113	2,58
35-40	40	0,91	55	1,26
40-45	13	0,30	15	0,34
45-50	2	0,05	2	0,05
	4379	100,00		

Tablica 10: Trajanje i učestalost izvora Zvira po razredima protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.

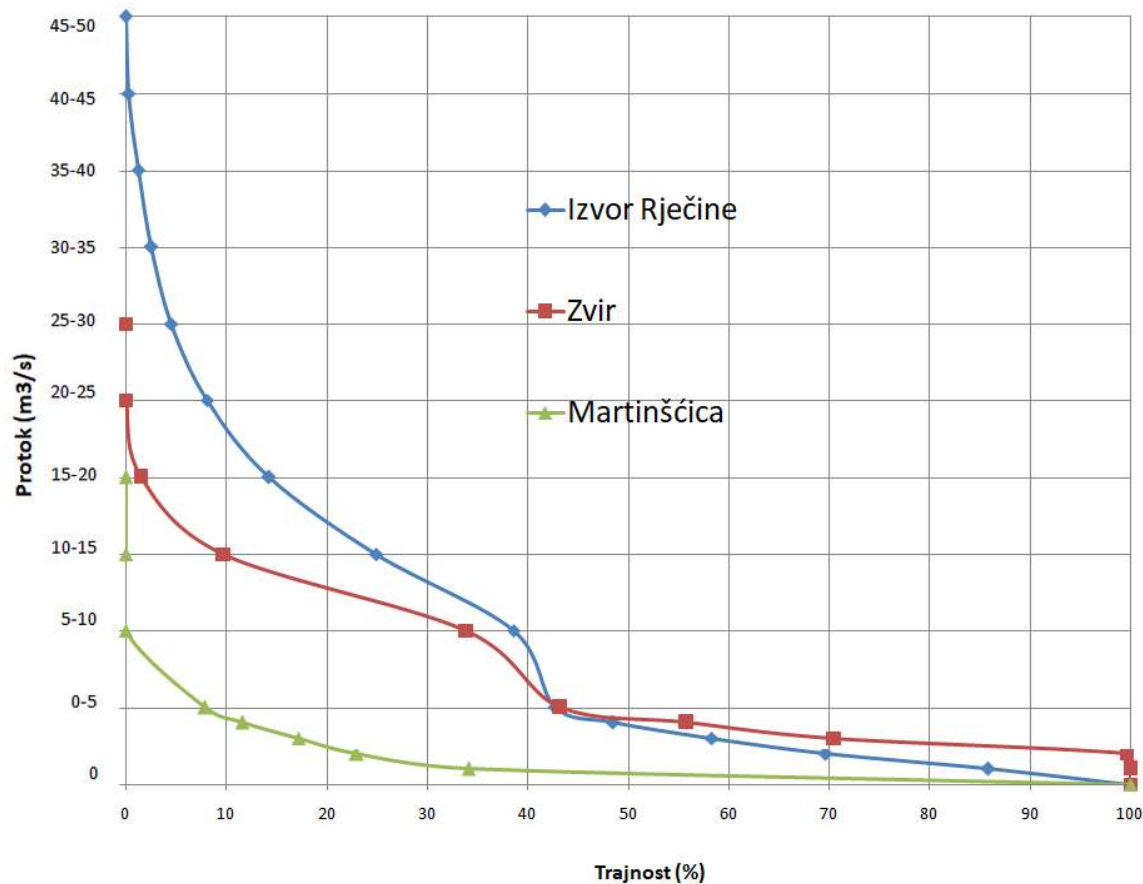
Zvir				
Razredi	Učestalost (dani)	Učestalost(%)	Trajanje (dani)	Trajanje (%)
0	0	0,00	4243	100,00
0-1	15	0,35	4243	100,00
1-2	1233	29,06	4228	99,65
2-3	623	14,68	2995	70,59
3-4	534	12,59	2372	55,90
4-5	398	9,38	1838	43,32
5-10	1025	24,16	1440	33,94
10-15	351	8,27	415	9,78
15-20	62	1,46	64	1,51
20-25	2	0,05	2	0,05
25-30	0	0,00	0	0,00
30-35	0	0,00	0	0,00
35-40	0	0,00	0	0,00
40-45	0	0,00	0	0,00
45-50	0	0,00	0	0,00
	4243	100,00		

Tablica 11: Trajanje i učestalost izvorišta Martinšćica po razredima protoka za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.

Martinšćica				
Razredi	Učestalost (dani)	Učestalost(%)	Trajanje (dani)	Trajanje (%)
0	0	0,00	4379	100,00
0-1	2885	65,88	4379	100,00
1-2	488	11,14	1494	34,12
2-3	252	5,75	1006	22,97
3-4	246	5,62	754	17,22
4-5	161	3,68	508	11,60
5-10	346	7,90	347	7,92
10-15	0	0,00	1	0,02
15-20	1	0,02	1	0,02
20-25	0	0,00	0	0,00
25-30	0	0,00	0	0,00
30-35	0	0,00	0	0,00
35-40	0	0,00	0	0,00
40-45	0	0,00	0	0,00
45-50	0	0,00	0	0,00
	4379	100,00		



Slika 30: Dijagram učestalosti analiziranih izvora za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.



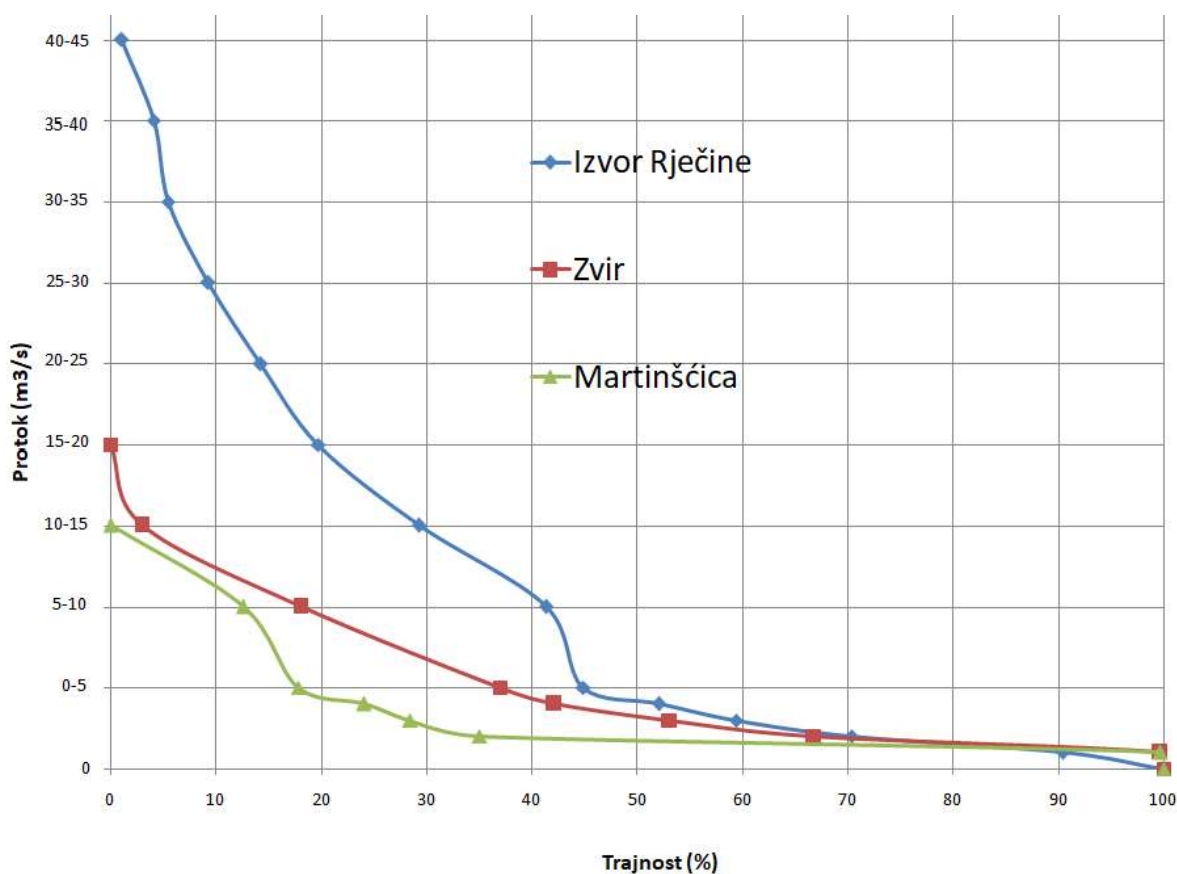
Slika 31: Krivulja trajanja analiziranih izvora za cjelokupno razdoblje 1979.-1990.

Izvor Rječine ima najveći raspon protoka, samim time najviše je vezan uz količinu oborina. Pad krivulja trajanja Zvira i Martinšćica iznimno je blag, takav položaj krivulja potvrđuje prijašnje navode o zalihama podzemne vode ovih izvora, što nam doprinosi u sušnom periodu godine. Kronološki, Zvir ima najblaži pad krivulje, zatim Martinšćica, te najveći pad ima Izvor Rječine.

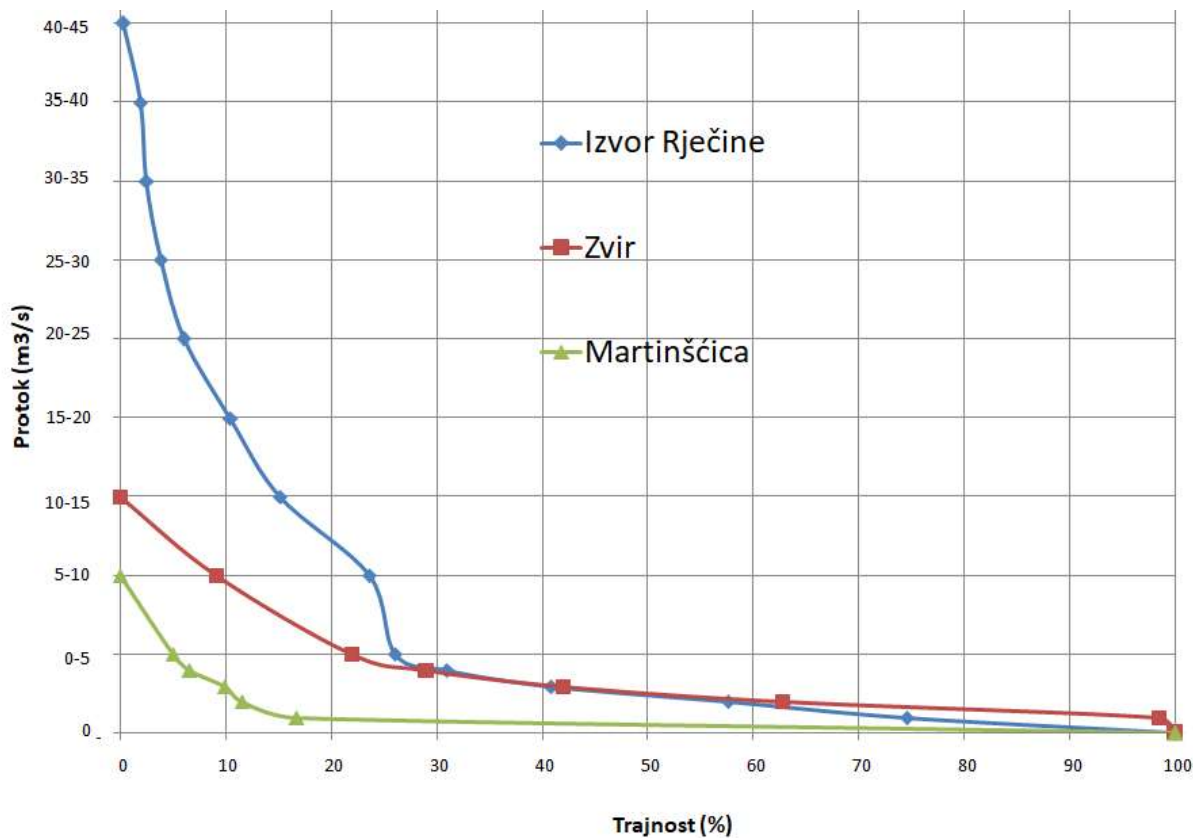
Naposljetku ovim će se radom prikazati krivulje trajnosti za dvije godine. 1982. godine bila je godina s najvećom količinom protoka, zbrojeni protoci ovih izvora tada su iznosili 5443 m<sup>3</sup>/s.

Oprečno navedenoj godini, krivuljom trajnosti prikazat će se i najsuša godina, uslijedila je nakon najvodnije, odnosno 1983. kada su ukupni protoci navedenih izvora iznosili 3355 m<sup>3</sup>/s.

Krivulje su prikazane na slikama 32 i 33.



Slika 32: Krivulja trajanja analiziranih izvora za najvodniju, 1982. godinu promatranog razdoblja.



Slika 33: Krivulja trajanja analiziranih izvora za najsušu, 1983. godinu promatranog razdoblja.

Uspoređujući najvodniju i najsušu krivulju trajnosti, uočavamo puno veći nagib pri početku krivulje najsuše godine. Samim time najvodnija godina zauzima veći prostor na prikazanom dijagramu, ujedno joj je i površina ispod krivulje veća. To se i podrazumijeva uzimajući u obzir veliku razliku ukupnih protoka na izvorima, koja je tih godina iznosila velikih 2088 m<sup>3</sup>/s.

## 6. ZAKLJUČAK

Ovim radom detaljno su analizirani izvori: Izvor Rječine, Zvir i Martinšćica u razdoblju 1979.-1990. godine. Provedenom analizom i usporedbom izvora ustanovilo se da gotovo sve veze izvora spadaju u kategoriju čvrste veze, dok veza Zvir – Martinšćica prema Chadocku spada pod srednju jakost. Vrijedi naglasiti da Izvor Rječine i Zvir, koji pripadaju istom vodotoku imaju najčvršću vezu. Izvori pripadaju istom slivu, te su na relativno maloj međusobnoj udaljenosti, stoga su ovakve veze bile i očekivane. Posljedično tomu izvori se slično ponašaju tokom godine.

Izvor Rječine presušuje redovito svake godine u dva ili tri navrata, prosječno 50 dana, dok ostala dva izvora nikada nisu presušila u ovom razdoblju. Tim vrijednim podatkom, nepresušni izvori dobivaju na važnosti, osobito Zvir na kojemu u sušnom razdoblju „leži“ gotovo sva vodoopskrba, te u manjoj mjeri ali isto vrijedno izvoriste Martinšćica.

Uspoređujući srednje mjesečne protoke Izvor Rječine većim dijelom godine ima najveće protoke, Zvir tih mjeseci zaostaje, ipak u srpnju i kolovozu kada najčešće Izvor Rječine presušuje Zvir ima najveće protoke, dok Martinšćica redovito uvelike zaostaje za ovim izvorima. Godišnji prosjek srednjih vrijednosti protoka iznosi: Izvor Rječine  $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , Zvir  $4,63 \text{ m}^3/\text{s}$ ; te Martinšćica  $1,37 \text{ m}^3/\text{s}$ . Najveće vrijednosti protoka ostvaruju se u studenom i prosincu, dok su minimalni protoci u srpnju i kolovozu.

Godišnji protoci iz godine u godinu opadaju, ipak Izvor Rječine ima puno veći pad, što je dijelom posljedica zahvaćanja vode, a dijelom zasigurno i klimatskim promjenama.

Također su analizom uočljive konstantne oscilacije protoka na dnevnoj razini. Naime, tijekom svakog dana mogu se pojaviti vrlo različiti srednji dnevni protoci, osobito na Izvoru Rječine.

Ovakvi nepredvidivi protoci na Izvoru Rječine, ukazuju na povezanost izvora s količinom padalina. Pad krivulja trajanja Zvira i Martinšćica iznimno je blag, te nam takav položaj otkriva da izvori imaju velike količine akumulirane podzemne vode.

Naposljetku, analizirana je i koincidencija pojave maksimalnih odnosno minimalnih protoka na ovim izvorima. Prosječno se na Zviru najmanji protok javlja 19 dana, dok se na Martinšćici prosječno javlja 16 dana po presušivanju Izvora Rječine. Maksimalni protoci Zvira prosječno odstupaju samo 2 dana za Izvorom Rječine. Martinšćica je unutar promatranih 12 godina čak 5 godina imala svoj maksimalni protok u drugom intervalu, ostalih godina u prosjeku se isti javio 4 dana nakon maksimalnog protoka Izvora Rječine.

Izvori grada Rijeke i okolice iznimno su kvalitetni, te potrošači u skoroj budućnosti ne moraju strahovati za kvalitetu i dostupnost pitke vode. No vrijedi napomenuti da klimatske promijene, povećanje potreba vodoopskrbe s obzirom na rast turizma i naseljavanje, te zasigurno i opadanje protoka iz godine u godinu moraju u nama probuditi želju za sačuvanje ovako kvalitetnih izvora i za naredne generacije. Stoga treba racionalno pristupiti istima, te adekvatno zaštititi ovako velike bisere što nam ih priroda nudi.



## 7. LITERATURA

### Radovi u uređenim knjigama i zbornicima:

- Benac, Č., Rubinić, J., Ožanić, N.: The origine and evolution of coastal and submarine springs in Bakar bay, Acta Carsologica 32, 1, 2003.
- Biondić, B., Dukanić, F.: Vodni resursi općine Rijeka, Hrvatske vode, 3, Zagreb, 1995.
- Biondić, B.: Istraživanja zaštite izvorišta vodoopskrbe na području Primorsko-goranske županije, Geotehnički fakultet u Varaždinu, Fond stručne dokumentacije, 2003.
- Biondić, B., Biondić, R., Dukarić, F., Meaški, H.: Hidrogeološka istraživanja u funkciji razvoja Vodovoda Rijeka, u Zbornik radova stručno poslovnog skupa Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje, str. 149-159, Rijeka, 2005.
- Biondić, R.: Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Fond stručne dokumentacije 2004.
- Biondić, R., Kapelj, S., Rubinić, J., Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 2004.
- Bonacci, O.: Analysis of the maximum discharge of karst springs, Hydrogeology Journal, br. 9 , 2001.
- Bonacci, O., Oštrić, M., Roje-Bonacci, T.: Prilog hidrologiji krškog izvora Rječine, Hrvatske vode 25, 100, 2017.
- Grbac, R., Orešić, D., Čanjevac, I.: Suvremena vodoopskrba Riječkog područja, Geoadria 14, 2, 2009.
- Gulić, A., Korelacijsko, kroskorelacijsko i regresijsko modeliranje interakcije oborina i razina podzemne vode na području jugoistočnog djela zagrebačkog vodonosnika, diplomski rad, sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2018.
- Hidraulika podzemnih voda u kršu: [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h06-osnove\\_hidraulike\\_krsa.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h06-osnove_hidraulike_krsa.pdf), svibanj 2020.
- Hinić, V., Margata, K.:Specifičan pristup monitoringu kakvoće vode krških izvorišta - preduvjet za upravljanje kakvoćom vode u riječkom vodoopskrbnom sustavu, u: Zbornik radova stručno poslovnog skupa Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje, str. 187-193, Rijeka 2005.
- Jagodnik, P., prezentacija iz kolegija Primijenjena geologija, <https://moodle.srce.hr/2019-2020/enrol/index.php?id=53162>, svibanj 2020.
- Linić, A.: Vodoopskrba Rijeke i okolice, u: Zbornik radova stručno poslovnog skupa Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje, str. 1-88, Rijeka 2005.
- Rubinić, J., Sarić, M.: Hidrologija vodnih resursa u slivu Rječine, u: Zbornik radova stručno poslovnoga skupa Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje, str. 199-208, Rijeka, 2005.
- Rubinić, J., prezentacija iz kolegija Vodni resursi i sustavi, <https://classroom.google.com/u/1/c/MTgxNjQ4MDQ4MDZa>, svibanj 2020.
- Stražičić, N.: Riječki izvori i vodotoci, Rijeka 1999.

- Škarica Stupičić, S., Raspor Janković, S., Analiza povezanosti odabranih čimbenika i pokazatelja turističkog prometa, Zbornik Veleučilišta u Rijeci, Vol. 3, No. 1, 2015.

#### Časopisi:

- Nadilo, B.(2000): Vodoopskrba Riječkog prostora i gradnja vodospreme streljana, Građevinar, 52, str. 599- 606, Zagreb, 2000.
- Linić, A.: Vodoopskrba Rijeke i okolice, Građevinar, 45, str. 285-292, Zagreb 1993.

#### Internet:

- <http://www.kd vik-rijeka.hr/voda/vodoopskrba/izvorista#IzvorRjecine>, svibanj, 2020.
- <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=34221>, svibanj 2020.
- <https://sites.google.com/site/primorskahrvatska89/home/reljef>, svibanj 2020.
- <https://www.speleolog.hr/aktivnosti/objektinacrti/35-geomorfologija-izvora-zvir-u-rijeci>, svibanj 2020.
- <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57758>, svibanj 2020.
- [https://www.rijeka.hr/wp-content/uploads/2016/08/GUP\\_2007\\_polazista\\_ciljevi\\_plan.pdf](https://www.rijeka.hr/wp-content/uploads/2016/08/GUP_2007_polazista_ciljevi_plan.pdf), svibanj 2020.