

# Analiza vodnog režima Baćinskih jezera

---

**Boros, Željko**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2022**

*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:157:040232>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



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**

**Željko Boros**

**Analiza vodnog režima Baćinskih jezera**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2022.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Specijalistički diplomski stručni studij  
Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi**

**Željko Boros  
JMBAG: 0114028747**

**Analiza vodnog režima Baćinskih jezera**

**Diplomski rad**

**Rijeka, lipanj 2022.**

Rijeka, 29. lipnja 2022.

Sveučilište - iz **Sveučilište u Rijeci**  
Upisnika:  
Predmet: **Prirodne osnove vodnih pojava u priobalju**  
Grana: **2.05.03 hidrotehnika**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 2065

Pristupnik: **Željko Boros (0114028747)**  
Studij: Građevinarstvo; smjer: Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi

Zadatak: **Vodni režim Baćinskih jezera**

Opis zadatka:

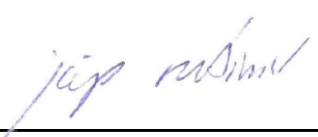
U radu je potrebno:

- Opisati opće značajke sliva Baćinskih jezera i utjecajnog područja Vrgoračkog polja s rijekom Maticom Vrgorskom,
- Provesti osnovnu obradu raspoloživih podataka o vodostajima I protocima na postajama Šipak na Baćinskim jezerima, Izvoru Klokun, te postajama Staševica i Krotuša na Matici Vrgorskoj - nadopunjavanje nizova nedostajajućih podataka, karakteristični mjesečni i godišnji pokazatelji, vjerojatnosti pojave, unutargodišnja raspodjela, analize trendova, učestalosti i trajnosti dnevnih protoka.

Zadatak uručen pristupniku: 1. ožujka 2022.  
Rok za predaju rada: 1. srpnja 2022.

Mentor:

mentor:

  
\_\_\_\_\_  
Izv. prof. dr. sc. Josip Rubinić

## **IZJAVA**

Diplomski 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.

---

Željko Boros

U Rijeci, 01. srpnja 2022.

## IZJAVA

Diplomski rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta “Procjene utjecaja klimatskih promjena na hidrološku stabilnost zaštićenih jezerskih sustava u krškom području Hrvatske” (voditelj izv. prof. Josip Rubinić), koji se realizira uz potporu Sveučilišta u Rijeci (broj potpore; uniri-technic-18-298).

U Rijeci. 1.7.2022.

## ZAHVALA

*Ovim putem zahvaljujem se svom mentoru izv.prof. dr. sc. Josipu Rubiniću, dipl.ing.građ. s kojim mi je bila čast i zadovoljstvo surađivati. Hvala na pruženoj potpori i savjetima te velikoj podršci i iskazanom strpljenju kroz cijeli proces pisanja diplomskog rada.*

*Posebno hvala mojoj obitelji na svojoj podršci i strpljenju te nesebičnom pomaganju koje su pružili tijekom cijelog razdoblja studiranja.*

*Također, veliko hvala svim djelatnicima, profesorima i asistentima s Građevinskog fakulteta u Rijeci.*

*Naposlijetku, zahvala ide i se svim prijateljima i kolegama s kojima sam proveo nezaboravne studentske dane.*

## Sažetak

Baćinska jezera nalaze se u neposrednoj blizini Jadranskog mora te su usprkos krškom propusnom terenu ispunjena slatkom vodom. Dno jezera locirano je ispod razine mora, dok je sama površina jezera iznad. Iz tog razloga Baćinska jezera se ubrajaju u kriptodepresije. U sklopu jezera nalazi se šest slatkovodnih krških jezera.

U ovom diplomskom radu na temelju dostupnih podataka analiziran je vodni režim spomenutih jezera na način da su promatrane hidrološke postaje na samom jezeru Šipak te preljev izvora Klokun na lokalitetu Baćina, kao i na vodotoku Matici Vrgorskoj, koja je tunelom povezana s jezerima Staševica i Krotuša.

Kao podloga korišteni su ulazni zaprimljeni podaci te dostupni raspoloživi podaci preuzeti sa službenih stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda. U radu su tako korišteni dostupni raspoloživi podatci koji se odnose na dnevne, mjesečne i godišnje protoke na vodotocima Matica Vrgorska, Baćinska jezera i Klokun u razdoblju od 1979. do 2020. godine. Za samu obradu podataka korištene su sljedeće metodologije obrade podataka: korelacijska/regresijska analiza, analiza homogenosti, osnovne statističke obrade podataka, analiza hoda i trenda i analiza vjerojatnosti karakterističnih pokazatelja.

**Ključne riječi:** vodni režim, Baćinska jezera, hidrološka postaja, protoci, kriptodepresije



## ABSTRACT

Baćina Lakes are located in the immediate vicinity of the Adriatic Sea and, despite the permeable karst terrain, are filled with fresh water. The bottom of the lake is located below the sea level, while the surface of the lake itself is above. For that reason, Baćina lakes are considered cryptodepressions. Within the lake there are six freshwater karst lakes.

In this master thesis, based on available data, the water regime of these lakes is analyzed by observing hydrological stations on Lake Šipak and the overflow of the source Klokun in Baćina, as well as on the watercourse Matica Vrgorska, which is connected by a tunnel to Lakes Staševica and Krotuša.

The received inputs and available data taken from the official website of the Croatian Meteorological and Hydrological Service were used as a basis. The paper thus uses the available data related to daily, monthly and annual discharges at the water courses of Matica Vrgorska, Baćina Lakes and Klokun in the period from 1979 to 2020. The following data processing methodologies were used for data processing: correlation / regression analysis, homogeneity analysis, basic statistical data processing, course and trend analysis, and probability analysis of characteristic indicators.

**Keywords:** water regime, Baćina Lakes, hydrological station, discharges, cryptodepressions,

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPIS ANALIZIRANOG PODRUČJA BAĆINSKIH JEZERA.....	3
2.1. Klimatske prilike.....	9
2.2. Geološke značajke.....	10
2.3. Pedološke značajke.....	13
2.4. Hidrološke značajke.....	14
2.5. Vodne pojave.....	18
2.5.1. Izvor Klokun.....	21
2.6. Vodonogospodarska rješenja.....	23
3. VRGORSKO POLJE.....	26
3.1. Vodni režim Vrgorskog polja.....	29
3.2. Vrgorski tunel.....	30
4. METODOLOGIJA OBRADE PODATAKA.....	33
4.1. Korelacijska/regresijska analiza.....	34
4.2. Analiza homogenosti.....	35
4.3. Osnovna statistička obrada podataka.....	36
4.4. Analiza vjerojatnosti karakterističnih pokazatelja.....	37
4.5. Učestalost i trajnost pojave.....	39
5. RASPOLOŽIVI PODACI.....	40
5.1. Podloge.....	40
5.2. Postaja Staševica – Matica Vrgorska.....	44
5.3. Limnigrafska postaja Krotuša – Matica Vrgorska.....	44
5.4. Postaja Šipak – Baćinska jezera.....	45
5.5. Limnigrafska postaja Baćina – Klokun.....	47
6. REZULTATI OBRADE PODATAKA.....	48

6.1.	Osnovna statistička obrada podataka .....	48
6.2.	Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti i njihov trend.....	54
6.3.	Analiza homogenosti.....	58
6.4.	Vjerojatnost pojave maksimalnih i minimalnih vrijednosti godišnjih količina protoka na mjernoj postaji Šipak.....	62
6.5.	Vjerojatnost pojave maksimalnih i minimalnih vrijednosti godišnjih količina protoka na promatranim postajama .....	65
6.6.	Krivulje učestalosti i trajanja za mjernu postaju Šipak.....	69
6.7.	Krivulje učestalosti i trajanja za mjerne postaje Baćina, Krotuša i Šipak.....	70
7.	ZAKLJUČAK.....	72
	LITERATURA .....	74

## POPIS SLIKA

Slika 1. Regionalni identitet krajobraza Hrvatske; preuzeto sa: (MZOPU, 1999) .....	4
Slika 2. Karta šireg područja Baćinskih jezera; preuzeto sa: (Bonacci i Roje-Bonacci, 2020).5	
Slika 3. Izgled Baćinskih jezera danas (lijevo) i prije 1869. godine (desno), prikazano na austrougarskoj vojnoj karti na temelju morfološke analize obale; preuzeto: (Ilijanić i suradnici, 2015) .....	6
Slika 4. Položaj Baćinskih jezera i tunela koji ih spajaju s morem i Vrgoračkim poljem; (izradio autor) prema (Ilijanić i suradnici, 2015) .....	7
Slika 5. Detaljna hidrogeološka karta područja Krotuša-Baćinska jezera-Birina u mjerilu 1:5000; preuzeto: (EKONERG, 2008) prema: (EKONERG, 2004.).....	11
Slika 6. Prikaz potresnih područja za razdoblje od 95-475 godina za područje grada Ploča i šire okolice; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008).....	12
Slika 7. Prikaz detalja stare topografske karte izvornog mjerila 1:100 000; preuzeto: ( <a href="https://www.dinarskogorje.com/stri382evo.html">https://www.dinarskogorje.com/stri382evo.html</a> ).....	14
Slika 8. Hidrološki režim Baćinskih jezera u tri podrazdoblja; preuzeto sa: (Bonacci i Roje-Bonacci 2020, str. 277-290).....	16
Slika 9. Opis Baćinskih jezera i povezanih tunela; podloga preuzeta sa: ( <a href="https://opentopomap.org/#map=14/43.07757/17.42037">https://opentopomap.org/#map=14/43.07757/17.42037</a> ); (izradio autor) .....	19
Slika 10. Vodno tijelo JKLN003 (Baćinska jezera); preuzeto: (EKONERG d.o.o., 2008).....	20
Slika 11. Vodocrpilište Klokun; preuzeto sa:( <a href="https://izvor.ploce.hr/vodocrpilista-klokun-i-modro-oko/">https://izvor.ploce.hr/vodocrpilista-klokun-i-modro-oko/</a> ) .....	21
Slika 12. Vodoopskrbni sustav Grada Ploča i okolice: preuzeto sa:( <a href="https://izvor.ploce.hr/sustav-vodoopskrbe/">https://izvor.ploce.hr/sustav-vodoopskrbe/</a> ).....	22
Slika 13. Sustav precrpne stanice CS "Klokun" preuzeto sa: ( <a href="https://izvor.ploce.hr/sustav-vodoopskrbe/">https://izvor.ploce.hr/sustav-vodoopskrbe/</a> ) .....	23

Slika 14. Shematski prikaz tunela Krotuša i hidroloških stanica na području Vrgorskog polja – Baćinska jezera; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008) .....	24
Slika 15. Prikaz Vrgoračkog polja i Rijeke Matice; preuzeto sa: ( <a href="https://visitploce.com/hr/stasevica-i-polje-jezero/">https://visitploce.com/hr/stasevica-i-polje-jezero/</a> ) .....	26
Slika 16. Shematski prikaz Vrgorskog polja i Baćinskih jezera s pripadajućim tunelima; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008).....	27
Slika 17. Poplave na Vrgoračkom području u prosincu 2020. godine; preuzeto sa: ( <a href="https://www.voda.hr/hr/novosti/poplave-na-vrgorackom-podrucju-1">https://www.voda.hr/hr/novosti/poplave-na-vrgorackom-podrucju-1</a> ) .....	28
Slika 18. Prikaz Vrgorskog polja u odnosu na okolno područje; preuzeto sa: (Ožanić, N i sur., 2005) .....	29
Slika 19. Pojedine faze radova na probijanju odvodnog tunela Krotuša (Vrgorski tunel); preuzeto sa: ( <a href="https://ploce.com.hr/regija/ante-erak-malo-detalnije-o-izgradnji-tunela-maricevac/">https://ploce.com.hr/regija/ante-erak-malo-detalnije-o-izgradnji-tunela-maricevac/</a> ).....	30
Slika 20. Ulazni dio tunela Vrgorac u suhom periodu (lijevo) i kišnom periodu (desno); preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008).....	31
Slika 21. Izlazni dio tunela u suhom periodu (lijevo) i kišnom periodu (desno); preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008).....	31
Slika 22. Građevina za manipulaciju grube rešetke u sklopu tunela Vrgorac; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008).....	32
Slika 23. Situacijski prikaz ulaznog dijela Vrgorskog tunela; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008) .....	32
Slika 24. Karakteristični izgled Gaussove (normalne) funkcije raspodjele gustoće vjerojatnosti; preuzeto sa: (Hrelja, 2000.).....	37
Slika 25. Grafički prikaz krivulja učestalosti i trajnosti; preuzeto iz predavanja (Ožanić, 2004.) .....	39
Slika 26. Prikaz hidroloških postaja analiziranog područja; podloga preuzeta sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ); (izradio autor) .....	41

Slika 27. Prikaz mjerne postaje Staševica; preuzeto sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ).....	44
Slika 28. Prikaz mjerne postaje Krotuša; preuzeto sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ) .....	45
Slika 29. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Šipak; preuzeto sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ) .....	46
Slika 30. Prikaz mjerne postaje Šipak; preuzeto sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ).....	46
Slika 31. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Baćina; preuzeto sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ) .....	47
Slika 32. Grafički prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za minimalne protoke: (izradio autor).....	52
Slika 33. Grafički prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za srednje protoke: (izradio autor) .....	52
Slika 34. Grafički prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za maksimalne protoke: (izradio autor).....	52
Slika 35. Unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka mjerne postaje Baćina u razdoblju 1979.-2020. godine: (izradio autor).....	53
Slika 36. Unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka mjerne postaje Krotuša u razdoblju 1979.-2020. godine: (izradio autor).....	53
Slika 37. Unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka mjerne postaje Šipak u razdoblju 1979.-2020. godine: (izradio autor).....	54
Slika 38. Mjerna postaja Baćina - hodovi minimalnih (a), srednjih (b) i maksimalnih protoka (c) u razdoblju od 1979. do 2020 god.: (izradio autor).....	55
Slika 39. Mjerna postaja Krotuša - hodovi minimalnih (a), srednjih (b) i maksimalnih protoka (c) u razdoblju od 1979. do 2020 god.: (izradio autor).....	57

Slika 40. Mjerna postaja Šipak - hodovi minimalnih (a), srednjih (b) i maksimalnih protoka (c) u razdoblju od 1979. do 2020. god.: (izradio autor) .....	58
Slika 41. Mjerne postaje Baćina i Krotuša - analiza homogenosti za minimalne (a) , srednje (b) i maksimalne (c) protoke za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	59
Slika 42. Mjerne postaje Baćina i Šipak - analiza homogenosti za minimalne (a) , srednje (b) i maksimalne (c) protoke za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor) .....	60
Slika 43. Mjerne postaje Šipak i Krotuša - analiza homogenosti za minimalne (a) , srednje (b) i maksimalne (c) protoke za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	61
Slika 44. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave minimalnih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	62
Slika 45. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave srednjih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	63
Slika 46. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave srednjih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	64
Slika 47. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave maksimalnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	64
Slika 48. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave minimalnih (a) i srednjih (b) prosječnih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	66
Slika 49. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave srednjih (a) i maksimalnih (b) prosječnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	68
Slika 50. Grafički prikaz krivulje trajnosti za karakteristične srednje dnevne protoke na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1973. do 2020. god.: (izradio autor) .....	70
Slika 51. Grafički prikaz usporedbe krivulja trajanja dnevnih protoka na hidrološkim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2001. god.: (izradio autor) .....	71

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Podaci o površinama vodnih lica (A) i volumenima vode (V) za dvije razine vode u Baćinskim jezerima, (Bonacci i Švonja, 1984) te maksimalne dubine jezera, Curić (1988./1989) .....	6
Tablica 2. Prikaz osnovnih morfoloških i hidroloških podataka Baćinskih jezera; preuzeto: (Rubinić i suradnici, 2019) .....	17
Tablica 3. Opći podaci vodnog tijela JKLN003 (Baćinska jezera); preuzeto: (EKONERG d.o.o., 2008) .....	20
Tablica 4. Podaci analiziranih hidroloških stanica; podaci preuzeti sa: ( <a href="https://hidro.dhz.hr/">https://hidro.dhz.hr/</a> ): (izradio autor).....	40
Tablica 5. Pregled Raspoloživih (ulaznih) podataka, kao podloga za analizu vodnog režima Baćinskih jezera; (izradio autor).....	42
Tablica 6. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na mjernoj postaji Baćina za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine: (izradio autor).....	48
Tablica 7. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na mjernoj postaji Krotuša za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine: (izradio autor) .....	49
Tablica 8. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine (izradio autor).....	50
Tablica 9. Prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za minimalne protoke: (izradio autor) .....	51
Tablica 10. Prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za srednje protoke: (izradio autor).....	51
Tablica 11. Prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za maksimalne protoke: (izradio autor) .....	51
Tablica 12. Gumbelova raspodjela minimalnih i srednjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	62



Tablica 13. Gumbelova raspodjela maksimalnih i srednjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor).....	63
Tablica 14. Usporedni prikaz vjerojatnosti pojave minimalnih i srednjih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor) .....	65
Tablica 15. Usporedni prikaz vjerojatnosti pojave srednjih i maksimalnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor) .....	67
Tablica 16. Prikaz karakterističnih trajnosti srednjih dnevnih protoka na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor) .....	69
Tablica 17. Usporedni prikaz trajnosti dnevnih protoka na hidrološkim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2001. god.: (izradio autor) .....	71

## 1. UVOD

U ovom diplomskom radu analizirani su najniži, srednji i najviši te dnevni mjesečni i godišnji protoci izmjereni na vodostajima mjernih postaja Staševica, Baćina, Krotuša i Šipak smještenih sjeverozapadno od ušća rijeke Neretve na Baćinskim jezerima.

Sustav Baćinskih jezera sastoji se od pet međusobno povezanih jezera: Plitko, Podgora, Oćuša, Sladinac, Crniševo i jednog nepovezanog jezera Vrbnik. Najveće jezero predstavlja Oćuša s površinom od 55,4 ha, a najveća dubina, koja iznosi 31,00 metar izmjerena je u jezeru Crniševo. Najdublja točka locirana je na 28,00 metara ispod razine mora što znači da je prema prosječnoj razini jezera duga 31,00 m. Kota apsolutnog dna jezera nalazi se ispod razine mora, dok je površina iznad i zbog tog Baćinska jezera spadaju u kriptodepresije. Jezera su smještena u blizini Jadranskog mora, ali su ispunjena slatkom vodom unatoč terenu koji je krški i propusan. Jezera se opskrbljuju vodom pomoću trajnih i povremenih izvora, a najvažnije izvorište čini Klokun koji utječe u Plitko jezero (Bonacci i Roje-Bonacci 2020).

Vodni režim Baćinskih jezera, pobliže je objašnjen kroz tri podrazdoblja: nepromijenjeni prirodni režim do 1913. godine, hidrološki režim koji je funkcionirao u razdoblju od 1913. godine do 1938. godine te vodni režim koji je nastao kao posljedica početka rada tunela Krotuša u razdoblju od 21. studenog 1938. do danas. Opisivanjem vodnog režima Baćinskih jezera skrenuta je pozornost na povezanost jezera s Vrgorskim poljem odnosno tunelom Krotuša koji povezuje Vrgoračko polje s Baćinskim jezerima. Definirano je na koji se način pomoću tunela, koji je s radom započeo 1938. godine, evakuiraju poplavne vode iz Vrgorskog polja prema Baćinskim jezerima te na koji način se iz Baćinskih jezera evakuiraju poplavne vode u Jadransko more.

U diplomskom radu u prvom dijelu, Uvodu, dan je kratak uvod u obrađenu temu te je definirana metodologija obrade podataka. U drugom poglavlju dan je opis analiziranog područja Baćinskih jezera uz detaljniji prikaz klimatskih prilika, geoloških značajki, pedoloških značajki i vodnih pojava. Trećim poglavljem fokus je dan na samo povezivanje Baćinskih jezera sa Vrgoračkim poljem te su izneseni podaci o tunelima za evakuiranja velikih voda. U četvrtom poglavlju definirana je metodologija koja je korištena prilikom obrade podataka. U petom poglavlju detaljno su opisane hidrološke postaje te su izneseni raspoloživi podaci i podloge. Šestim poglavljem prikazali su se rezultati obrade podataka. Dok je u zadnjem poglavlju, Zaključku iznesen pregled najbitnijih zaključaka do kojih se došlo prilikom pisanja rada.

Metodologije obrade podataka koje su korištene u radu su: korelacijska/regresijska analiza, analiza homogenosti, osnovne statističke obrade podataka, analiza hoda i trenda i analiza vjerojatnosti karakterističnih pokazatelja.

Cilj rada je temeljem osnovnih hidroloških (raspoloživih) podataka sa hidroloških mjernih postaja analizirati količinu minimalnih, srednjih i maksimalnih protoka u promatranom razdoblju koristeći već navedene metodologije obrade podataka te detaljnije prikazati vodni režim Baćinskih jezera.

## 2. OPIS ANALIZIRANOG PODRUČJA BAĆINSKIH JEZERA

Prema Bonacci i Roje-Bonacci (2020) pojava jezera u dinarskom kršu i u ostalim krškim regijama na zemlji rijetki su iz razloga što se površina terena jezera sastoji od karbonatnih naslaga koje su propusnije u odnosu na područja koja se sastoje od drugih vrsta stijena. Rijetka područja slatke vode u kršu potrebno je maksimalno zaštititi. Posebno pažnju treba pridonijeti slučajevima jezera koja su locirana neposredno uz more zbog čega postoji mogućnosti da u njih prodre slana voda. Smatra se kako takva jezera imaju opasnost od prodora slane vode. Jedan od takvih slučajeva predstavljaju Baćinska jezera koja su udaljena od Jadranskog mora približno 1000 metara, a predstavljaju vodom bogati sustav u inače površinskim vodom siromašnim priobalnim krškim područjima. Jezera krškog reljefa, a posebno kriptodepresije, specifični su vodni sustavi koji na području priobalne Hrvatske zbog svojih iznimnih prirodnih vrijednosti imaju karakter zaštićenih područja. Baćinska jezera imaju izvedene hidrotehničke tunele za dovod i odvod voda iz jezerskih sustava pri čemu je značajna komponenta dotoka vode izvan njegova neposrednog sliva.

Uzimajući u obzir vrlo dobru izgrađenost hidrotehničkog sustava kojim se osigurava dotok i istjecanje vode iz jezera a poznavajući činjenicu da sustav ima vrlo malu tromost zbog velikog broja vanjskih kontroliranih dotoka za očekivati je da će se Baćinska jezera jednostavno prilagoditi negativnim klimatskim promjenama. Podizanjem razine mora i usporavanjem istjecanja vode jezera smanjiti će se kapaciteti dijelova sustava koji evakuiraju suvišne vode. Sustav će biti nužno nadograditi i optimizirati.

Baćinska jezera nalaze se u neposrednoj blizini Grada Ploče u području Donja Neretva koja je unatoč fizički prostorno skućenoj površini izdvojena u posebnu krajobraznu jedinicu. Donja Neretva predstavlja jedino znatnije naplavljeno područje na obali Republike Hrvatske, gdje se nizinski poljoprivredni i močvarni dijelovi uokviruju brdovitim kršem što čini jedinstvenu i prepoznatljivu sliku te predstavlja potencijal za razvoj turističkih djelatnosti. Baćinska jezera sa svojim nepravilnim izgledom i površinom od 138,00 hektara spadaju u najzanimljivije pojave u hidrografiji krša. (EKONERG d.o.o. 2008, str. 56-57).

Područje jezera je u većoj mjeri očuvano na zapadnom i sjevernom dijelu, a utjecaj izgradnje i poljoprivrede najizraženiji je na istočnom dijelu te na južnom dijelu jezera te je u tom dijelu prisutan veliki broj kultiviranih površina na nekadašnjem šumskom pojasu i obalnom području koja su danas svedena na uski obalni pojas. (EKONERG d.o.o. 2008, str 56-57).

Na Slici 1., na osnovu karte *strategije i programa prostornog uređenja Republike Hrvatske*, prikazan je regionalni identitet krajobraza Hrvatske.



Slika 1. Regionalni identitet krajobraza Hrvatske; preuzeto sa: (MZOPU, 1999)

Prema Zakonu o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18), Baćinska jezera se ne nalaze unutar zaštićenog područja međutim u blizini se nalazi značajno područje Modro Oko te jezero uz naselje Desne s ukupnom površinom od 333,54 hektara. Područje čini krška depresija koja je mjestimično potopljena i nalazi se s desne strane obale rijeke Neretve, koja ovisno o vodostaju može biti više ili manje ujezerena.

Na Slici 2. prikazan je sustav Baćinskih jezera, koji se sastoji od šest jezera koja se nalaze u mjestu Baćina. Mjesto Baćina nalazi se u blizini primorskog grada Ploče koji se nalazi na desnoj strani obale rijeke Neretve. Jezero se sastoji od šest slatkovodnih krških depresija, koja se nalaze ispod razine mora što ih čini kriptodepresijama. Jezera čine akumulacijske prostore koji u konačnici predstavljaju denudacijsku bazu svih padinskih prostora s obližnjih brda jugoistočnog dijela gorskog hrpta Rilića (Curić i sur., 1995).



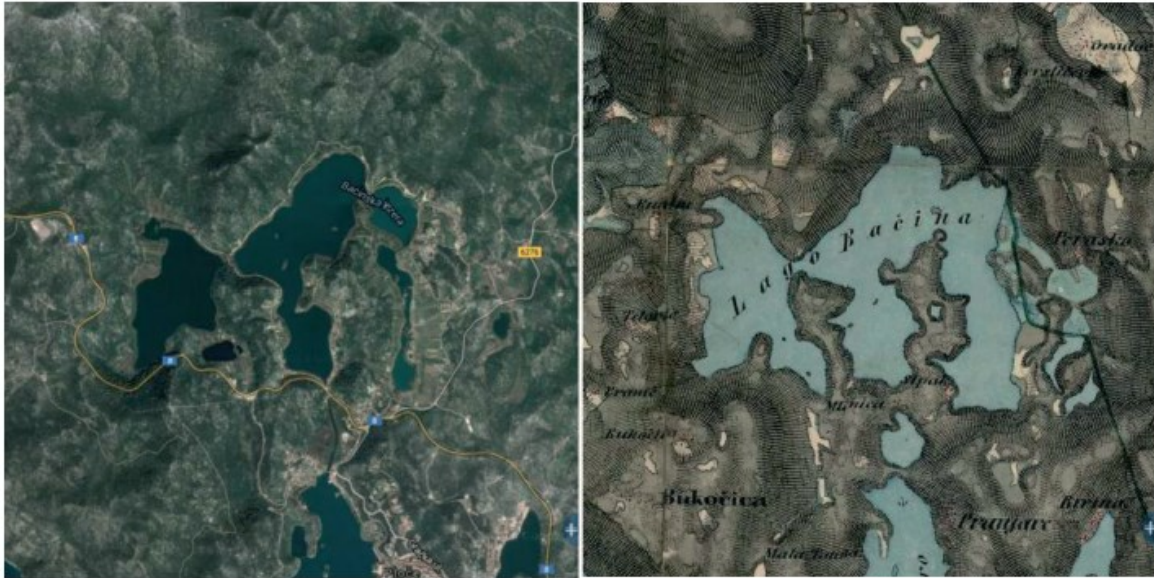
Slika 2. Karta šireg područja Baćinskih jezera; preuzeto sa: (Bonacci i Roje-Bonacci, 2020)

U nastavku su navedena međusobno povezana jezera kao i jedno bez površinske veze (Slika 2)

- Jezero Plitko, označeno brojem 1,
- Jezero Podgora, označeno brojem 2,
- Jezero Očuša, označeno brojem 3,
- Jezero Sladinac, označeno brojem 4,
- Jezero Crniševo, označeno brojem 5.

Jezero Vrbnik, označeno brojem 6, nije površinski povezano s ostalih pet jezera ali spada u istoimeni hidrogeološki sustav krškog vodonosnika (Curić, 1989).

Na Slici 3. prikazana je obala Baćinskih jezera danas i prije 1869. godine. Na temelju morfološke analize obale a prema austrougarskoj vojnoj karti iz 1869., prikazuje se razina jezera između +8 i +10 iznad morske razine (Ilijanić i suradnici, 2015).



Slika 3. Izgled Baćinskih jezera danas (lijevo) i prije 1869. godine (desno), prikazano na austrougarskoj vojnoj karti na temelju morfološke analize obale; preuzeto: (Ilijanić i suradnici, 2015)

Prema Bonacci i Švonja (1984), u Tablici 1. prikazani su podaci o površinama vodnih lica ( $A$ ) i volumenima vode ( $V$ ) na osnovu dvije zabilježene razine vode u jezerima. U zadnjem stupcu iznesene vrijednosti prikazuju maksimalne dubine vode ( $H_{maks}$ ). Prema Curiću (1989), jezero s najvećom površinom je jezero Očuša, a jezero s najvećom dubinom je jezero Crniševo. Jedino jezero koje nije površinski povezano s ostalim jezerima i koje je najmanje je jezero Vrbnik.

Tablica 1. Podaci o površinama vodnih lica ( $A$ ) i volumenima vode ( $V$ ) za dvije razine vode u Baćinskim jezerima, (Bonacci i Švonja, 1984) te maksimalne dubine jezera, Curić (1988./1989)

Naziv jezera	H = 0,75 mnm		H = 2,50 mnm		$h_{maks}^*$ (m)
	A (ha)	V ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	A (ha)	V ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	
Plitko	9,90	1,65	19,82	4,25	5
Podgora	11,74	7,27	15,33	9,64	10
Očuša	55,23	70,09	62,84	80,43	18
Sladinac	18,00	18,90	20,74	22,29	16
Crniševo	43,94	73,10	50,25	81,34	31
Vrbnik	A = 3,1 ha *				8

Prema Ilijanić i suradnici (2015) voda u Baćinskim jezerima je slatka iako postoji manji broj izvora povezanih direktno s Jadranskim morem. Na području hidrološke postaje Klokun koja se nalazi kod Plitkog jezera, locirano je izvorište vode koje omogućuje vodu koja je pitka za grad Ploče i okolna naselja. Na jezerima se nalaze dva tunela te tri otoka, a područje jezera predstavlja stanište mnogobrojnih močvarnih biljnih zajednica rijetkih na istočno jadranskoj obali. Jezera predstavljaju stanište za ukupno 24 različite vrste riba, od kojih je ukupno 9 rijetkih endemičnih vrsta. Bioraznolikosti jezera doprinosi veliki broj ptica, kukaca i gmazova. Zbog iznimne i očuvane prirode jezera privlače veliki broj izletnika i turista. Na Slici 4. prikazan je položaj tunela koji Baćinska jezera spaja s morem, odnosno Vrgoračkim poljem. Jezero Oćuša površinski je najveće jezero (0,55 km<sup>2</sup>) s dužinom preko 1,2 km, a dubinom približno 19,6 m. Jezero Podgora ima dubinu od 10,1 m, a jezero Sladinac 16,4 m. Plitko jezero (Podkušinac) ima dubinu do 5,5m, a najdublje jezero je jezero Crniševo (39,m). Jezero Crniševo je depresija u obliku konusa s promjerom od 15-ak metara te se nalazi najzapadnije od svih jezera. Površina jezera Crniševo je 0,43 km<sup>2</sup> što ga čini drugim po veličini jezerom (dugo je 1,1 km).



Slika 4. Položaj Baćinskih jezera i tunela koji ih spajaju s morem i Vrgoračkim poljem; (izradio autor) prema (Ilijanić i suradnici, 2015)



Prirodno stanje sustava Baćinskih jezera postojalo je sve do kraja 1912. godine kada je od jezera Sladinac do Jadranskog mora prokopan tunel u duljini od 124,00 m te kanal duljine 576,00 m. U prirodnom stanju maksimalni vodostaj u jezerima dosezao je skoro do 8,00 metara. Ulazni portal tunela pozicioniran je na južnom rubu jezera Sladinac, koje se nalazi najbliže moru, udaljeno otprilike oko 700,00 metara. Na ulaznom dijelu tunela izgrađena je ljevkaasta građevina, a na granici jezera i ulazne građevine izgrađen je preljevni prag sa krunom na visini kote 0,80 m iznad srednje razine mora. Funkcija praga je sprječavanje prodiranja morske vode u Baćinska jezera tijekom visokih plima. Na tunel se nastavlja spojni kanal Baćinska jezera - Jadransko more, projektiran na maksimalnu protoku od 70 m<sup>3</sup>/s (Smirčić i suradnici, 1995).

Prema Margeta i Knezić (2001), iz Vrgoračkog polja 21. studenog 1938. pušten je u rad tunel Krotuša duljine 2190,00 metara sa svrhom povezivanja tunela sa jezerom Podgora a u cilju eliminiranja poplava u Vrgorskom polju, koje su godišnje trajale od šest do devet mjeseci, što je onemogućavalo stabilnu poljoprivrednu proizvodnju u ovom plodnom krškom polju.

Zbog nepostojanja objekata za regulaciju protoka viška količine voda, koje su se evakuirale kroz tunel Krotuša, količina vode koja se evakuirala u prostor jezera ovisila je isključivo o razini vode u Vrgoračkom polju. Naknadni radovi na uređenju odvodnog sustava polja odrađeni su 1945. i 1946. godine. Radovi su rezultirali spajanjem tunela s rijekom Maticom prokopavanjem sedla Prigon. Smanjenjem kote dna ulaznog portala tunela u razdoblju 1957.-1958. utjecalo se na smanjenje visina i trajanje poplava u polju.

Krajnji rezultat izvedenih radova rezultirao je smanjenjem poplava u Vrgoračkom polju u prosjeku za 3,00 m. Tijekom 1989. godine izvršeni su radovi na betoniranju dna tunela Krotuša, čime je zadovoljen cilj odnosno projektirani kapacitet. Naknadnim radovima u Vrgoračkom polju maksimalna protočnost podignuta je na današnjih 49,00 m<sup>3</sup>/s. Trajanje poplava u Vrgoračkom polju je značajno skraćeno, a razina poplavnih voda u odnosu na godine prije prokopa tunela je osjetno snižena. Razlozi zbog čega poplave i dalje otežavaju intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju odnose se na nedovoljno veliki kapacitet korita Matice Vrgorske za evakuaciju valova velike vode. Izgradnjom i funkcioniranjem tunela Krotuša prvenstveno se vodilo računa o regulaciji vodnog režima Vrgorskog polja, u drugom planu ostali su utjecaji na vodni režim, kakvoću voda, okoliš i ekosustave Baćinskih jezera (Bonacci, 2013).

## 2.1. Klimatske prilike

Područje Baćinskih jezera, kao i cijelo područje Dubrovačko-neretvanske županije, spada pod umjerenu sredozemnu klimu koju obilježavaju topla ljetna razdoblja s povremenom pojavom suše, dok su ostala godišnja doba s izraženim oborinama i umjerenim temperaturama. Najviše godišnje temperature su tijekom mjeseca srpnja i/ili kolovoza s temperaturama do 34 °C (EKONERG d.o.o. 2008, str. 51).

Godišnje količine padalina variraju između minimalnih 700 mm i maksimalnih 1800 mm, s prosječnom vrijednosti od otprilike 1300 mm. Statistički značajan trend opadanja vrijednosti godišnjih oborina nije opažen. Najmanja količina oborina pojavljuje se u razdoblju od lipnja do kolovoza s izraženim maksimumom u studenom. Prosječna godišnja temperatura zraka u prethodnih 50 godina varira između 15 °C do 17 °C. Zbog posljedica globalnog zagrijavanja na području Baćinskih jezera uočen je porast temperature zraka, osobito od sredine osamdesetih godina prošlog stoljeća. Za očekivati je da će se u narednom razdoblju nastaviti ubrzani trend povećanja temperature te da srednje godišnje temperature zraka neće padati ispod 17 °C, a realno je očekivati njihov porast za najmanje 1 °C. Minimalne se temperature javljaju u siječnju. Temperature zraka niže od 0 °C javljaju se vrlo rijetko (Bonacci, 2010).

Prema EKONERG d.o.o. (2008), najviše temperature zraka javljaju se tijekom srpnja i kolovoza kada srednje mjesečne temperature zraka prelaze 28 °C. U posljednjih tridesetak godina uočen je porast broja toplih dana (pojava temperatura zraka viših od 25 °C) i vrućih dana (pojava temperatura zraka viših od 30 °C). Porast temperatura zraka u regiji i na analiziranom lokalitetu Baćinskih jezera zasigurno će imati utjecaja na njihov vodni režim. Kao posljedica globalnog zagrijavanja, isparavanje s površine vodnih lica jezera bit će uvećano, a prihranjivanje podzemnih voda umanjeno. Realno je očekivati snižavanje razine vode.

Zbog izraženijih klimatskih promjena te najnovijih procjena provedenih u okviru izrade Nacrta strategije prilagodbe Republike Hrvatske klimatskim promjenama (2017) za razdoblje do 2070. godine, procjenjuju se značajnije negativne promjene temperature, podizanja razine mora i količina otjecanja. Najvećim promjenama izloženi su priobalni krški vodonosnici a rizik od neželjenih promjena postoji i za jezera, vodotoke i izvore. U prilog tome govore i sve učestalije i dugotrajnije sušne hidrološke prilike te učestale pojave zaslanjenja voda jezerskih sustava, 2011. i 2012. godina predstavljale su ekstremno sušne godine. (Rubinić i suradnici, 2019).

## 2.2. Geološke značajke

Geološku strukturu Baćinskih jezera izgrađuju naslage paleogenske, neogenske, jurske i kredne starosti. Povijesno najstarije naslage područja čine gornjotrijaski dolomiti u priobalju od Gradca do luke Ploče. U širem području jezera i okruženju grada Ploče, predmetne naslage, u strukturnom smislu izgrađuju jezgre antiklinala u boranom kompleksu od grada Ploča do Norina (EKONERG d.o.o. 2008).

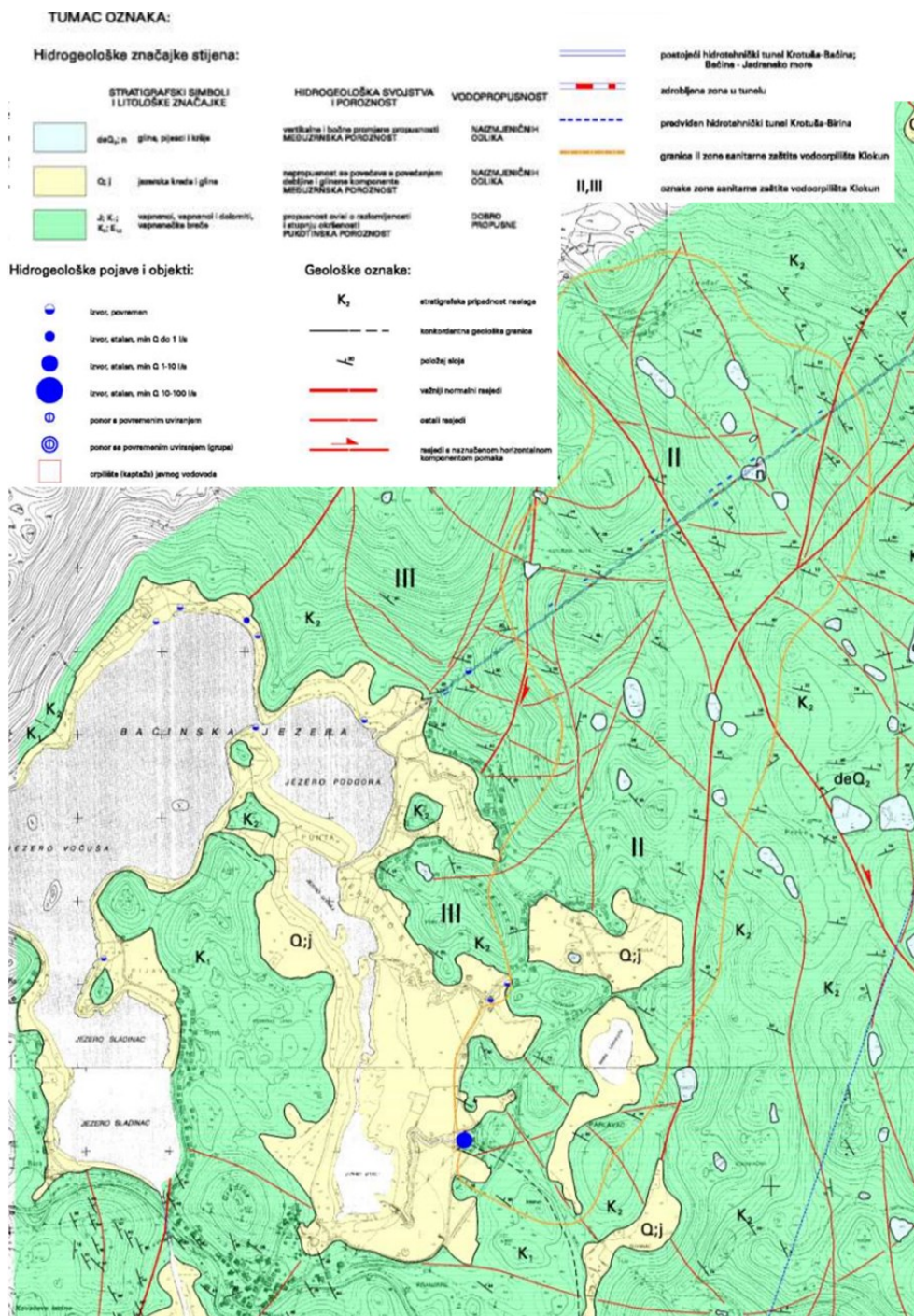
Površinom najveći karbonatni prostor izgrađuju gornjokredne naslage. Naslage cenomana izgrađuju dijelove Vrgoračkog jezera te područja Pline (sjeveroistočno i sjeverno od grada Ploča), prema jugu u dolini Neretve, naslage su prekrivene kvartarnim taložinama. U litološkom pogledu, naslage uglavnom čine uslojeni vapnenci, ali često se pronalaze i leće sedimentnih breča te tanko uslojenih dolomita. Jezerski sedimenti nalaze se istaloženi u područjima Baćinskih jezera, oko jezera Vlaška u dolini Neretve, na području Velikog i malog Vrgorskog polja te Rastok polju. Sedimenti se sastoje od jezerske krede te pjeskovitih i masnih glina.

Na površini se učestalo prekrivene humusnim slojem. Prema strukturi jezerska je kreda prvenstveno muljeviti, a posljedično nakon povlačenja vode rastresiti bijeli do sivi prah s velikim sadržajem kalcijeva karbonata. Neotopivi sadržaja sačinjavaju ostaci feldspata, rožnjaka i muskovita, od sporednih sadržaja ostaci su minerala granata, turmalina, cirkona i drugog. Jezerski sedimenti sadrže različitu debljinu, ovisno o paleoreljefu, ali im maksimalna debljina iznosi do 10,00 do 15,00 m. Aluvijalne naslage učestalije su istaložene na području doline rijeke Mlade i u poljima gdje su zastupljeni sadržaji gline, šljunka a uz ruba polja i siparišni materijal. Pretežno je riječ o većim ponikvama u kojima spomenute naslage predstavljaju obradivo tlo. Debljina im otprilike ispod 2,00 m (EKONERG d.o.o. 2008).

S obzirom na vodopropusnost stijena područje Baćinskih jezera i okolice podijeljeno je u pet osnovnih grupa, a to su (EKOENERG d.o.o., 2008):

- „stijene s naizmjeničnim osobinama,
- stijene s dobro propusnim naslagama,
- stijene s djelomično nepropusnim naslagama,
- stijene s djelomično propusnim naslagama,
- stijene s nepropusnim naslagama.“

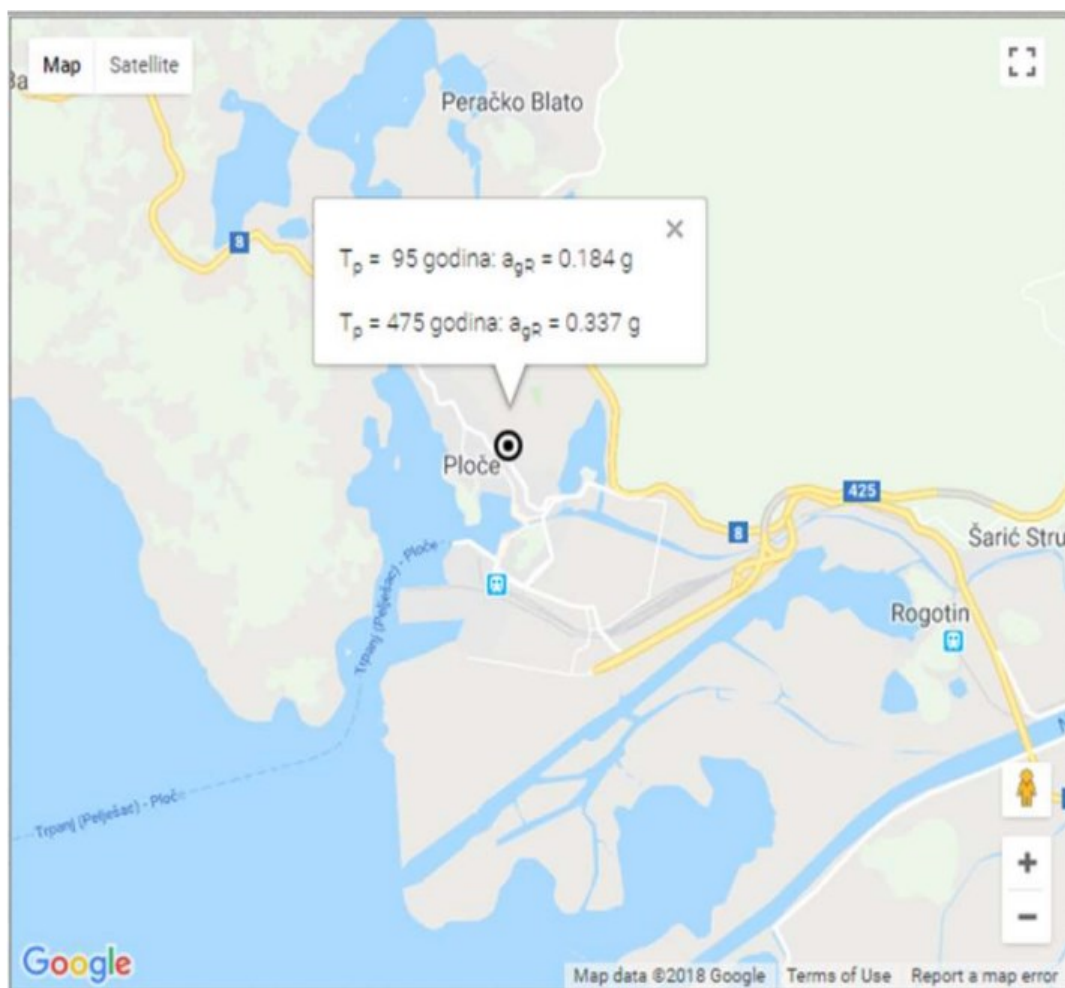
Na Slici 5. iz studije o utjecaju na okoliš odvodnje viška vode iz Vrgoračkog polja (EKONERG, 2004) preuzeta je detaljna hidrogeološka karta područja Krotuša – Baćinska jezera – Birina u mjerilu 1:5000. Na karti su prikazane geološke značajke stijena, hidrogeološke pojave i objekti, oznake zone sanitarne zaštite, postojeći hidrotehnički tunel Krotuša-Baćina kao i predviđeni hidrotehnički tunel Krotuša-Birina. Istaknuti si podaci o položajima crpilišta, stalnih i privremenih izvora.



Slika 5. Detaljna hidrogeološka karta područja Krotuša-Baćinska jezera-Birina u mjerilu 1:5000; preuzeto: (EKONERG, 2008) prema: (EKONERG, 2004.)

Baćinska jezera, odnosno cijelo Neretvansko područje se nalazi u zoni potresa VIII. stupnja MCS. Delta rijeke Neretve pripada velikom seizmičkom bloku koji sadrži područje donjeg toka Neretve (EKONERG d.o.o. 2008, str. 29).

Na površini delte Neretve utvrđeni su recentni epirogenetski pokreti odnosno spuštanje kopna i pozitivno pomicanje obalne linije, dokaz tome je i produženje toka Neretve u podmorje područja Neretvanskog kanala. Prema dostupnim rezultatima istraživanja regionalnih seizmotektonskih odnosa izdvojeni su predjeli u kojima se mogu očekivati najjači potresi, kao i procijeniti magnitude tih potresa. Na Slici 6. vidljiva je karta potresnih područja za povratno razdoblje od 95-475 godina gdje je putem aplikacije <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php> Državne seizmološke službe Republike Hrvatske prikazan iznos horizontalnog vršnog ubrzanja tla tipa A ( $a_{gR}$ ). Predmetni podatci izraženi su u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $1 g = 9.81 m/s^2$ ), te za ( $T_p$ ) 95,00 godina iznosi  $a_{gR} = 0,184 g$ , dok za ( $T_p$ ) 475 godina iznosi  $a_{gR} = 0,337g$ . (EKONERG d.o.o. 2008, str. 29).



Slika 6. Prikaz potresnih područja za razdoblje od 95-475 godina za područje grada Ploče i šire okolice; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

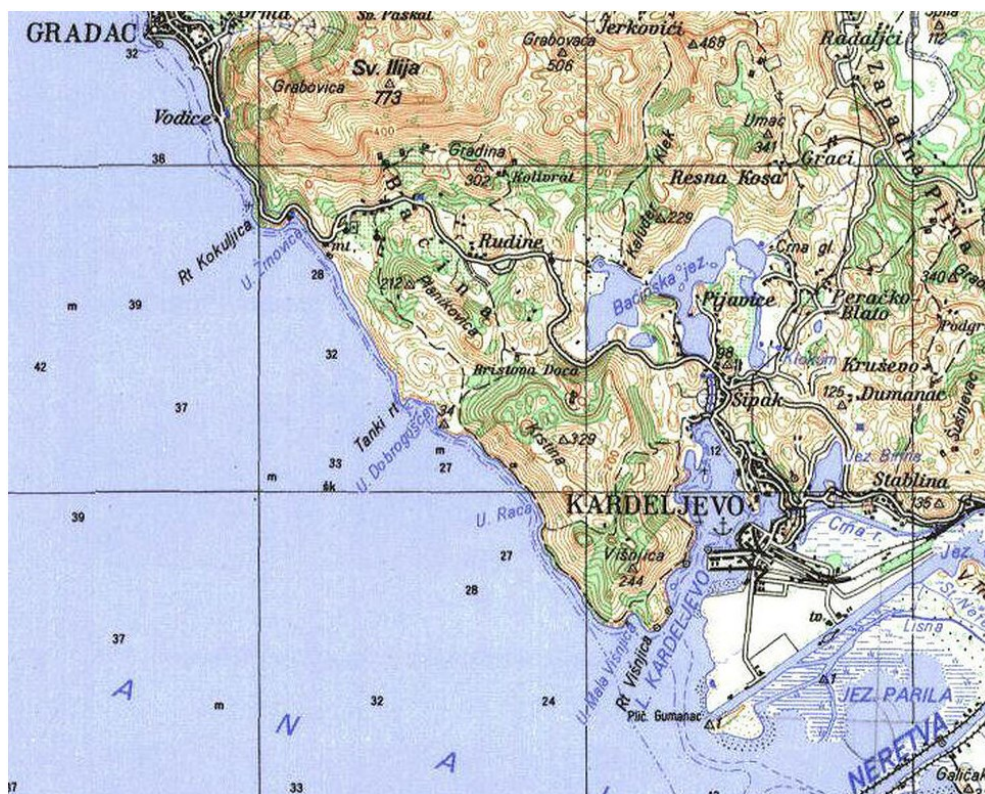
### 2.3. Pedološke značajke

Prema dinamici i intenzitetu pojedinačnog djelovanja pedogenetskih čimbenika na području Baćinskih jezera i Vrgoračkog polja razvile su se četiri sljedeće pedosistematske jedinice (EKONERG d.o.o., 2008, str. 30):

- Karbonatno aluvijalno koluvijalno ilovasto neoglejeno tlo – tla ove skupine karakteristična su na uskom i kontaktnom predjelu. Ovakva tla su predstavljaju sitno mrvičaste i mrvičaste strukture. Prema cjelokupnom porozitetu karakteristična su porozna tla s osrednjim kapacitetom za ukupnu vodu s malim kapacitetom za zrak. Prema reakciji tla spadaju u slabo alkalična tla. Opskrbljenost fizički aktivnim fosforom je slaba dok je kalijem umjerena. Ukupne količine humusa su u granicama slabo humoznih tla.
- Karbonatno aluvijalno oglejeno antropogenizirano tlo – tla ove skupine prema fiziološki aktivnoj dubini spadaju u vrlo plitka, preplavljena plavnim vodama s uključenim prisustvom podzemnih voda do same površine tla. Količina fizički aktivnog fosfora kreće se od 3,8 pa do svega 8,0 mg/100 g tla. Kalij je izraženiji u nešto većim količinama u prosjeku oko 11,00 mg/100 g tla, što ova tla čini ukupno umjereno opskrbljenim.
- Rendzina na nepovezanim jezerskim sedimentima i šljuncima + Litosol – tla ove pedosistematske skupine razvijena su u međuprostorima nižih čuka-glavica. Sukladno apsolutnoj dubini spadaju u srednje duboka, dok prema efektivnoj dubini agrofaze tla spadaju u srednje duboka i duboka. Prema cjelokupnom porozitetu spadaju u osrednje porozna tla, s srednjim kapacitetom za ukupnu vodu te malim kapacitetom za zrak. Mjereno prema pH reakciji u vodi pripadaju slabo alkaličnim tlima. Fiziološki aktivni kalij i fosfor su slabo opskrbljeni, pripadaju slabo humoznim tlima.
- Karbonatno aluvijalno oglejeno duboko glinasto - ilovasto antropogenizirano – tla ove skupine djelomično su hidromeliorirana sustavom otvorene mreže kanala. Prema apsolutnoj dubini ova tla kategoriziraju se kao vrlo duboka, spadaju u glinasto-ilovasta do ilovasta tla s prevagom frakcije praha (>70%). Mjereno prema pH u vodi spadaju u srednje alkalična s tla s otprilike 9,50% fizički aktivnog vapna. S uključenim fiziološki. Sadržaj humusa se kreće oko 1,41%.

## 2.4. Hidrološke značajke

Površina orografskog područja sliva Baćinskih jezera iznosi 21,40 km<sup>2</sup>. Jezera su locirana u području dubokog i razvijenog krša čime se hidrološko-hidrogeološka površina ne podudara sa orografskom (Bonacci i Švonja, 1984). Površine iz kojih se jezera opskrbljuju vodom se mijenjaju u zavisnosti od stanja lokalnih i regionalnih podzemnih voda (Bonacci, 1987). Na Slici 7. prikazan je detalj stare topografske karte izvornog mjerila 1:100 000.



Slika 7. Prikaz detalja stare topografske karte izvornog mjerila 1:100 000; preuzeto:

<https://www.dinarskogorje.com/stri382evo.html>

Sukladno vremenu gradnje pojedinih hidrotehničkih objekata i njihovog direktnog utjecaja na ukupnu bilancu voda Baćinskih jezera, izgled jezera se kroz godine postupno mijenjao. Prema Bonacci i Roje-Bonacci (2020), na Slici 8. prikazana su tri ključna vremenska podrazdoblja u kojima je zbog hidrotehničkih zahvata hidrološki režim bitno izmijenjen. Pod stavkom a) prikazan je nepromijenjeni prirodni režim do 1913. godine. Pod stavkom b) prikazan je hidrološki režim koji je funkcionirao u razdoblju od 1913. godine do 20. studenog 1938. godine odnosno od proboja tunela te kanala iz Baćinskih jezera u Jadransko more. Pod stavkom c) prikazan je vodni režim koji je nastao kao rezultat puštanja u rad tunela Krotuša s područja Vrgoračkog polja u jezero Podgora u razdoblju od 21. studenog 1938. godine do danas.

#### **a) nepromijenjeni prirodni režim do 1913. godine**

Neporemećeni odnosno nepromijenjeni prirodni režim vladao je do 1913. godine, u prirodnom stanju hidrološko-hidrogeološki režim bio je upravljani dotjecanjem slatke vode iz velikog broja stalnih i povremenih krških vrela smještenih uglavnom na sjevernom rubu te dotokom i istjecanjem podzemne vode. Površinski dotok pojavljivao se rijetko, uglavnom poslije intenzivnih kratkotrajnih oborina. Dotjecanje i/ili istjecanje podzemnih voda, kao i dotok voda s područja krških izvora koji prihranjuju Baćinska jezera, upravljani je razinom podzemne vode okolnih lokalnih, ali i regionalnih krških vodonosnika. Tijekom vlažnog razdoblja godine, od listopada do travnja, jezera su se prihranjivala podzemnim vodama, dok je tijekom sušnog i toplog dijela godine proces prihranjivanja bio obrnut odnosno suprotan – tijekom tog razdoblja vode iz jezera prihranjuje tamošnji krški vodonosnik.

#### **b) hidrološki režim koji je funkcionirao u razdoblju od 1913. godine do 1938. godine**

Prokopavanje odnosno probijanje tunela i kanala iz Baćinskih jezera u Jadransko more – kompletirano krajem 1912. godine naglo je i definitivno poremetilo prirodni hidrološki režim. Tijekom predmetnog razdoblja došlo je do značajnih hidroloških promjena. Bez obzira na uočene nedostatke monitoringa - promjene hidrološkog režima Baćinskih jezera tijekom navedenog razdoblja mogu biti praćene te shvaćene proučavanjem nizova dnevnih vodostaja očitanih na vodokaznoj letvi Šipak pozicioniranoj na istočnoj strani jezera Sladinac.

#### **c) vodni režim koji je nastao kao rezultat puštanja u rad tunela Krotuša u razdoblju od 21. studenog 1938. do danas**

Prema Bonacci i Roje-Bonacci (2020), dana 21. studenog 1938. godine u pogon je pušten tunel Krotuša. U tome trenutku započinje treće podrazdoblje koje s pojedinim antropogenim zahvatima traje do danas. Tijekom ožujka 1940. godine kompletirani su radovi na proširenju kapaciteta dionice tunela iz Baćinskih jezera prema Jadranskom moru u svrhu prihvata veće količine vode, koje su zbog proboja tunela Krotuša u jezera evakuirana u većim količinama. Tijekom 1981. godine preljevni prag na poziciji ulaza u tunel iz Baćinskih jezera prema Jadranskom moru je srušen, dok je 1994. godine izgrađen novi s uključenom ribljom stazom, a predmetni radovi značajno su utjecali na promjenu hidrološkog režima.

Na Slici 8. vidljiv je shematski prikaz Baćinskih jezera, odnosno funkcioniranje hidrološkog režima u tri (gore definirana) podrazdoblja:



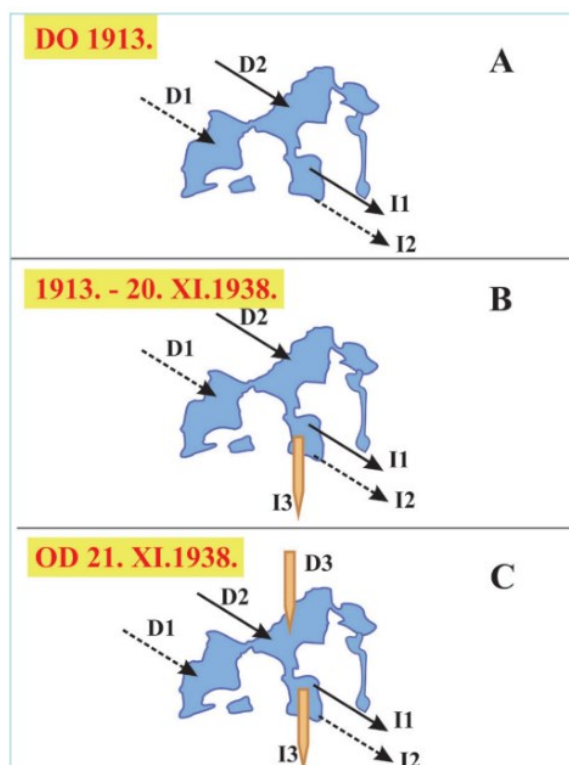
- **nepromijenjeni prirodni režim do 1913. godine,**
  - neporemećeno prirodno stanje Baćinskih jezera
- **hidrološki režim koji je funkcionirao u razdoblju od 1913. godine do 1938. godine**
  - podrazdoblje u kojem je funkcionirao tunel Krotuša i kanal za evakuaciju voda
- **vodni režim u razdoblju od 21. studenog 1938. do danas**
  - Razdoblje puštanja u rad tunela Krotuša

Prema Bonacci i Roje Bonacci (2020): „Slovom (D) iskazani su dotoci vode u sustav Baćinskih jezera;

- *dotok podzemnih voda – D1*
- *dotok površinskih voda – D2*
- *dotok vode iz Vrgoračkog polja tunelom Krotuša – D3*

Slovom (I) iskazana su istjecanja vode iz sustava Baćinskih jezera;

- *Istjecanje podzemnih voda – I1*
- *Isparavanje s površine vodnog lica – I2*
- *Istjecanje vode iz Baćinskih jezera pomoću tunela i kanala u Jadransko more – I3*



Slika 8. Hidrološki režim Baćinskih jezera u tri podrazdoblja; preuzeto sa: (Bonacci i Roje-Bonacci 2020, str. 277-290)

U Tablici 2. prikazane su osnovne morfološke i hidrološke značajke Baćinskih jezera. Hidrološki podaci analizirani su na osnovu razdoblja od 1974. godine do 2017. godine. U tablici su prikazani pokazatelji minimalne, srednje i maksimalne razine jezera. Također, prikazani su minimalni, srednji i maksimalni volumeni te pokazatelji površina, protoka i srednje izmjene vode (Rubinić i suradnici, 2019).

Tablica 2. Prikaz osnovnih morfoloških i hidroloških podataka Baćinskih jezera; preuzeto: (Rubinić i suradnici, 2019)

<b>Pokazatelj:</b>	<b>Jezero/ra</b>	<b>Baćinska jezera</b>
Najniža kota dna (m n.m.)		39 <sup>1</sup>
Srednja razina (m n.m.)		1,37
Maksimalna razina (m n.m.)		3,90
Minimalna razina (m n.m.)		0,38
Raspon kolebanja razina vode (m)		3,52
Srednja površina (km <sup>2</sup> )		1,5
Maksimalna površina (km <sup>2</sup> )		1,9
Minimalna površina (km <sup>2</sup> )		1,2
Srednji volumen (mil. m <sup>3</sup> )		18,0
Maksimalni volumen (mil. m <sup>3</sup> )		22,0
Minimalni volumen (mil. m <sup>3</sup> )		16,5
Raspon kolebanja volumena (mil. m <sup>3</sup> )		5,5
Sudjelujući protok u izmjeni voda (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		10,7
Srednje vrijeme izmjene vode		19,5 dana

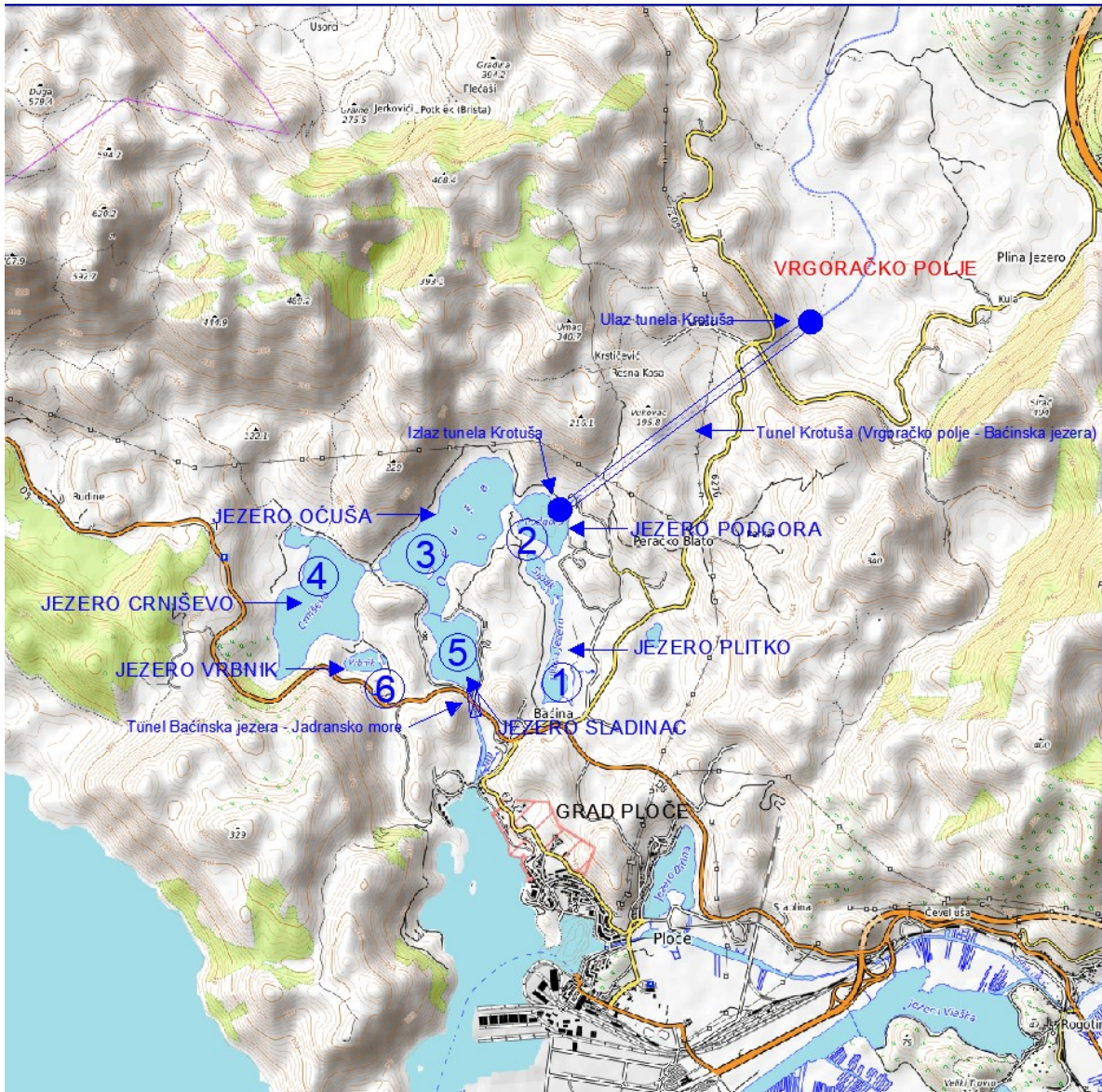
*1 - odnosi se na relativnu dubinu (Ilijanić i drugi, 2015)*

## 2.5. Vodne pojave

Baćinska jezera smještena su u području izraženog krša Dalmacije, sama po sebi predstavljaju izraziti kraški fenomen te snažan regulator vodnih resursa u regiji. Na području Baćinskih jezera kao i u mnogim krškim predjelima učestale su intervencije čovjeka, koji zbog navodnjavanja, regulacije otjecanja vode te zadržavanja vode regulira vodni režim određenog područja (Bonacci i Švonja, 1984).

Na području Baćinskih jezera nalaze se razne izražene vodne pojave kao što su izvori i jezera sa stalnim i povremenim značajkama koje u razdobljima niskih voda nisu povezana međusobno. Komplikiranu situaciju opterećuje i izgrađenost odvodnih tunela, reguliranih prirodnih tokova (korita), izgrađenih brana (pragova) što je rezultiralo promijenjenim prirodnim režimom nadzemnog i podzemnog tečenja (EKONERG d.o.o., 2008)

Na Slici 9. vidljiva je složena vodna povezanost između pojedinih jezera, koja zbog zavisnosti od vodostaja mijenja i izgled jezera. U područje Plitkog jezera (na slici označeno brojem 1) dotječu vode iz stalnog krškog vrela Klokun dok iz jezera istječe vode u jezero Podgora (na slici označeno brojem 2). Vodom s izvora Klokun opskrbljuju se grad Ploče i okolica, time se utječe na vodnu bilancu jezera, poglavito u sušnom razdoblju. U jezero Podgora vode dotječu iz stalnog krškog izvora Podgora i iz Vrgoračkog polja pomoću tunela Krotuša. Dotok vode tunelom ovisi o stanju razine vode u Vrgoračkom polju koja značajno varira. Određeni dio godine dotoka tunelom Krotuša u jezero nema. S područja jezera Podogora voda otječe površini vodnog lica u jezero Oćuša koje predstavlja najveće jezero u sklopu Baćinskih jezera (na slici označeno brojem 3). Jezero Oćuša se prihranjuje pomoću tri stalna izvora (Petrova jama, Suša i Crni Bad) te dva povremena krška izvora (Vinogradina i ispod Čuješeva stana). Pomoću širokog kanala iz jezera Oćuša voda otječe u jezero Sladinac (na slici označeno brojem 5) te putem tunela i kanala dalje prema Jadranskom moru. Po ukupnom volumenu vode, jezero Crniševo predstavlja najveće jezero (na slici označeno brojem 4). Jezero Crniševo uskim kanalom povezano je s jezerom Oćuša. Površinski su vode predmetnih jezera u rijetkom kontaktu. Zaključak je donesen na osnovu izvršenih mjerenja saliniteta u predmetna dva jezera. U jezeru Crniševo koncentracija klorida oscilira u ukupnom rasponu te je značajno izraženija nego u jezeru Oćuša. Najmanje jezero predstavlja jezero Vrbnik (na slici označeno brojem 6), pozicionirano istočno od jezera Crniševo i zapadno od jezera Sladinac – predstavlja jedino jezero koje nema površinske veze niti sa jednim Baćinskim jezerom (Bonacci i Roje-Bonacci, 2020).



Slika 9. Opis Baćinskih jezera i povezanih tunela; podloga preuzeta sa: (<https://opentopomap.org/#map=14/43.07757/17.42037>); (izradio autor)

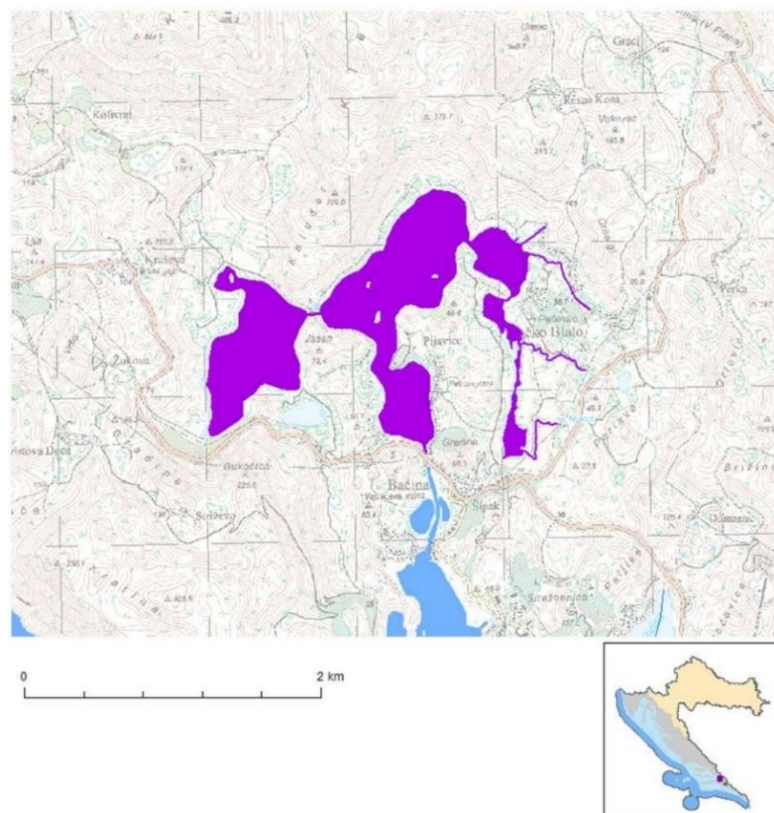
Baćinska jezera nastala su uslijed utjecaja Jadranskog mora, predstavljaju prirodni krški fenomen ukupne površine 1,90 km<sup>2</sup>. U sklopu jezera nalazi se 5 povezanih slatkovodnih krških jezera prosječne dubine od 3,00 do 32,00 m. Sva jezera predstavljaju kriptodepresije koje imaju nepravilan oblik, što se najbolje manifestira na dnu reljefa jezera. Iako je voda u jezeru slatka, postoje izvori koji su povezani s Jadranskim morem (Tanocki, 2011).

U tablici 3. iskazani su opći podaci vodnog tijela (šifra – JKLN003) Baćinskih jezera odnosno karakteristike površinskih, prijelaznih, priobalnih i podzemnih vodnih tijela (NN 66/16).

Tablica 3. Opći podaci vodnog tijela JKLN003 (Baćinska jezera); preuzeto: (EKONERG d.o.o., 2008)

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA JKLN003	
Šifra vodnog tijela:	JKLN003
Naziv vodnog tijela	Baćinska jezera
Kategorija vodnog tijela	Stajaćica / Lake
Ekotip	Nizinska, srednje duboka, mala jezera; Kriptodepresije na karbonatnoj podlozi (HR-J_3)
Površina vodnog tijela	1.31 km <sup>2</sup>
Izmjenjenost	Prirodno (natural)
Vodno područje:	Jadransko
Podsliv:	Kopno
Ekoregija:	Dinaridska
Države	Nacionalno (HR)
Obaveza izvješćivanja	EU
Tijela podzemne vode	JKGI-12
Zaštićena područja	HR1000031, HR5000031, HRCM_41031022, HROT_71005000
Mjerne postaje kakvoće	40520 (Jezero Crniševo, Baćinska jezera) 40519 (izlaz iz jezera Sladinac- površina, Baćinska jezera)

Na Slici. 10. prikazani su opći podaci vodnog tijela (JKLN003) Baćinskih jezera.



Slika 10. Vodno tijelo JKLN003 (Baćinska jezera); preuzeto: (EKONERG d.o.o., 2008)

### 2.5.1. Izvor Klokun

Izvor Klokun nalazi se istočno od Baćinskih jezera i sjeverno od grada Ploča na visini od 1.5 metara nadmorske visine. Voda izvire u malom jezeru te kanalom otječe prema jezeru Prikušinac. Površinu područja oko izvora većinom zauzimaju šumske i poljoprivredne površine. Prometnica lokalnog značaja dijeli zemljište na dva dijela. U blizini izvora nalazi se i županijska cesta. Unutar ograđenog zemljišta vodocrpilišta, na samom izvoru, nalazi se uređena kaptaža s prepumpnim postrojenjem, uređajem za dezinfekciju vode i kontrolu. Unutar vodocrpilišta nalaze se pomoćne prostorije za djelatnike (spavaonica, garderobe i radionica). U sklopu vodocrpilišta nalazi se trafo odjeljenje, pumpe i agregat koji je smješten u kućištu koje je zaštićeno i otporno na vremenske utjecaje. U sklopu ograđenog kompleksa na sjeveroistočnoj strani nalazi se prizemni objekt koji služi kao skladište kemikalija. Na Slici 11. prikazano je automatizirano vodocrpilište „Klokun“ uređeno kao I. zona sanitarne zaštite izvorišta. Postrojenje za vodoopskrbu unutar vodocrpilišta čine prostorije s ugrađenim pumpama, prostorije koje služe za dezinfekciju i neutralizaciju i prostorije s električnim ormarima za pumpe s uključenim uređajima za doziranje klora (Izvor Ploče d.o.o., 2017).



Slika 11. Vodocrpilište Klokun; preuzeto sa:(<https://izvor.ploce.hr/vodocrpilista-klokun-i-modro-oko/>)

Vodoopskrbni sustav Grada Ploča i okolice se većim dijelom oslanja na kaptažu sa izvorišta „Klokun“ te jednim dijelom s izvorišta „Modro oko“ za područje podsustava Desne. Sustav se dijeli na tri vodoopskrbna pravca (podsustava) (Izvor Ploče d.o.o.):

1. „Podsustav Klokun – Ploče – Komin,
2. Podsustav Klokun – Gradac,
3. Podsustav Desne“.

S obzirom na raspoložive količine vode na vodozahvatima, sustav je neovisan tijekom cijele godine pa nema potrebe za kupnjom od drugih sustava. Vodozahvati „Klokun“ i „Modro Oko“ koriste se za vodoopskrbu lokalnih područja (Izvor Ploče d.o.o.):

- „Grad Ploče,
- Općina Kula Norinska (Desne),
- Općina Gradac (Brist, Podaca i Gradac)“.

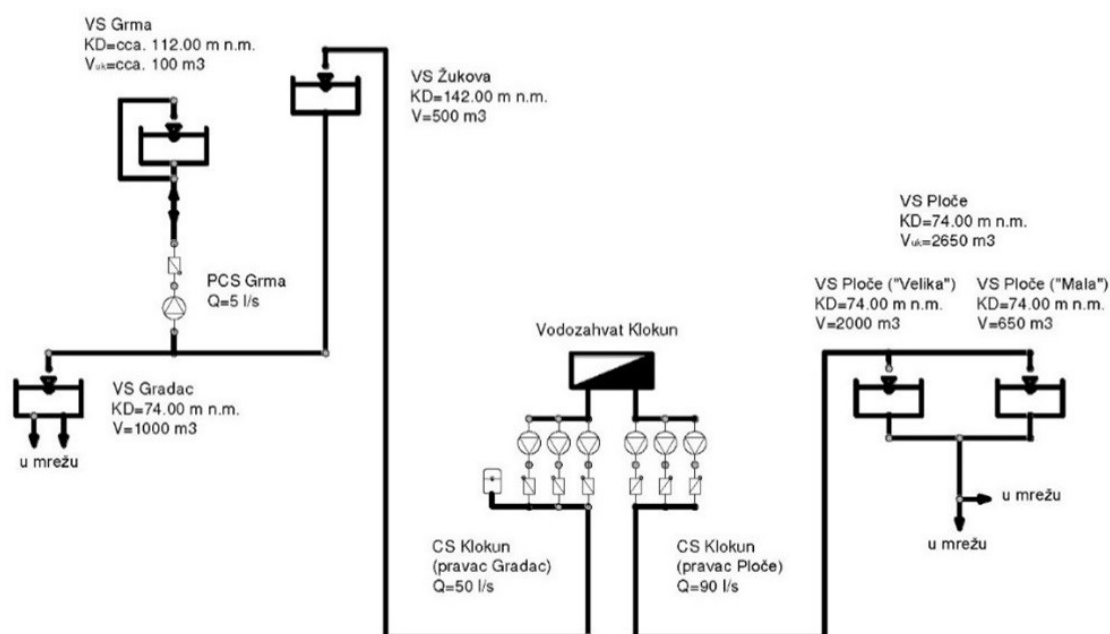
Voda sa izvorišta se na kombinirani način tlači u vodospreme i gravitacijskim se putem iz vodosprema dovodi do potrošača. Na gore navedenim područjima nalazi se ukupno 6.000,00 priključaka od čega 5.500,00 kućnih i 500,00 gospodarskih priključaka. Ukupna količina fakturirane vode iznosi 510,00 m<sup>3</sup> za kućanstva i 230,00 m<sup>3</sup> za gospodarstva. Udio u ukupnoj potrošnji za kućanstva iznosi 69,00 %, a za gospodarstva iznosi 31,00 %. Na Slici 12. prikazana je vodovodna mreža ukupne dužine 110,00 kilometara koja prolazi kroz dvije županije u kojima živi otprilike 14.000.00 stanovnika. Glavni izvor pitke vode za vodoopskrbni sustav grada Ploča i okolice čini izvorište „Klokun“ (Izvor Ploče d.o.o., 2017).



Slika 12. Vodoopskrbni sustav Grada Ploča i okolice: preuzeto sa:(<https://izvor.ploce.hr/sustav-vodoopskrbe/>)

Na Slici 13. prikazan je sustav precrpne stanice CS „Klokun“ koji služi za crpljenje vode s izvorišta „Klokun“ te potiskivanja vode prema položenim cjevododima pomoću kojih se pune vodospreme na području sustava. U zoni obuhvata nalaze se sljedeće vodospreme (Izvor Ploče d.o.o., 2017):

- „VS “Ploče” (veći broj spremnika ukupnog kapaciteta  $V = 2.650,00 \text{ m}^3$ ,  $KD = 74,00 \text{ m n.m.}$ ),
- VS “Žukova” (spremnik ukupnog kapaciteta  $V = 500,00 \text{ m}^3$ ,  $KD = 142,00 \text{ m n.m.}$ ),
- VS “Gradac” (spremnik ukupnog kapaciteta  $V = 1.000,00 \text{ m}^3$ ,  $KD = 74,00 \text{ m n.m.}$ ),
- VS “Grma” (spremnik ukupnog kapaciteta  $V = 100,00 \text{ m}^3$ ,  $KD = 112,00 \text{ m n.m.}$ ).“



Slika 13. Sustav precrpne stanice CS "Klokun" preuzeto sa: (<https://izvor.ploce.hr/sustav-vodoopskrbe/>)

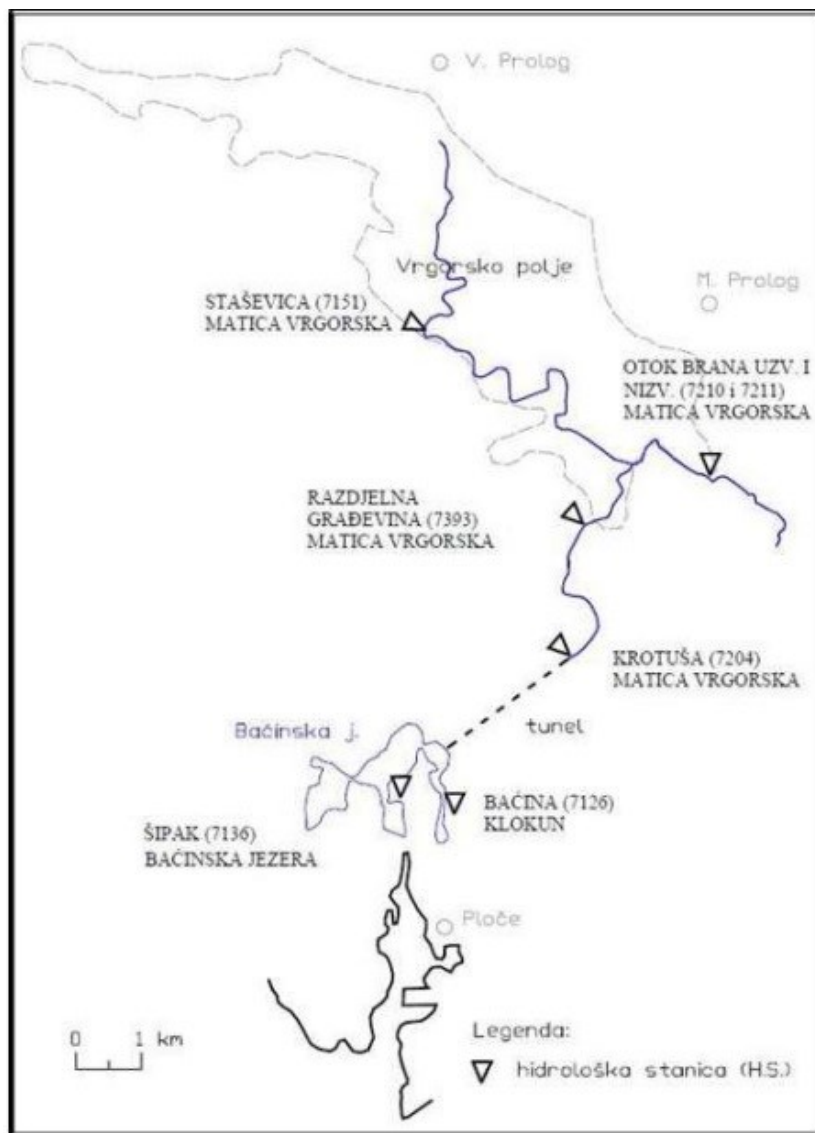
## 2.6. Vodonogospodarska rješenja

Uzimajući u obzir potencijal Baćinskih jezera te njegovih brojnih stalnih i periodičnih izvora koji širem području pružaju mogućnost vodoopskrbe, razvoja turizma te mogućnosti unapređivanja poljoprivrede i uzgoja ribe od izuzetne je važnosti područje jezera zaštititi ne samo od zagađenja nego i od značajnih promjena vodnog režima (Bonacci i Švonja, 1984).



Na Slici 14. prikazano je područje Vrgoračkog polja i Baćinskih jezera kao i spojnog tunela Krotuša. Oznakom trokuta označene su sljedeće hidrološke stanice (gledano od Vrgoračkog polja prema Baćinskim jezerima) (EKONERG d.o.o., 2008):

- „Staševica (šifra postaje 7151, vodotok Matica Vrgorska),
- Otok Brana uzvodno (šifra postaje 7211, vodotok Matica Vrgorska),
- Otok Brana nizvodno (šifra postaje 7210, vodotok Matica Vrgorska),
- Razdjelna građevina (šifra postaje 7393, vodotok Matica Vrgorska),
- Krotuša (šifra postaje 7204, vodotok Matica Vrgorska),
- Baćina (šifra postaje 7126, vodotok Klokun),
- Šipak (šifra postaje 7136, vodotok Baćinska jezera).“



Slika 14. Shematski prikaz tunela Krotuša i hidroloških stanica na području Vrgorskog polja – Baćinska jezera; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

Izgradnjom tunela Krotuša, pomoću kojeg se iz Vrgoračkog polja prema Baćinskim jezerima evakuira voda, i tunela koji prema Jadranskom moru vodu iz jezera odvodi, došlo je do promjene vodnog režima Baćinskih jezera. Analizu vodnog režima koji se mijenjao kroz godine, ovisno o izgradnji i djelovanju hidrotehničkih zahvata, jednostavnije je proučavati kroz određene periode (Bonacci i Švonja, 1984).

U periodu koji se odnosi na razdoblje do 1913. godine, jezero se smatra nepromjenjivim s prirodnim režimom. U navedenom razdoblju su se jezera napajala oborinskim vodama vlastitog sliva i vodama mnogobrojnih izvora smještenih na sjevernoj strani jezera, odvodnjavanje s jezera vršilo se evaporacijom te brojnim kraškim pukotinama kroz koje je voda istjecala u Jadransko more, zbog sporijeg pražnjenja maksimalni nivo vode penjao se do kote od 7,61 m.n.m (Bonacci i Švonja, 1984).

U periodu od 1913. godine kada je dovršena izgradnja odvodnog tunela prema Baćinskim jezerima do studenog 1938. godine kada je u pogon pušten dovodni tunel iz Vrgoračkog polja može se definirati kao stanje u kojem je došlo do hidroloških promjena. Pomoću odvodnog tunela kvadratnog otvora približne površine od 7,92 m<sup>2</sup> i njegove dužine od 124,00 m, voda se iz jezera pomoću kanala evakuirala kroz područje Bare te iz njega izlazila u Jadransko more.

Prema Bonacci i Roje-Bonacci (2020), 21. studenog 1938. godine otvoren je tunel Krotuša te u tom trenutku počinje razdoblje koje s pojedinim antropogenim zahvatima traje i danas. Tijekom ožujka 1940. godine kompletirani su radovi kojim se proširivao kapacitet dionice tunela iz Baćinskih jezera prema Jadranskom moru kako bi se mogle prihvatiti veće količine vode, a koje su zbog proboja tunela Krotuša u jezera evakuirane u većim količinama. Kroz 1981. godinu, srušen je preljevni prag koji se nalazio na poziciji ulaza u tunel iz Baćinskih jezera, a 1994. godine izgrađen e novi preljevni prag.

Nakon izgradnje novog betonskog preljevnog praga na ulaz u odvodni tunel prema Jadranskom moru na visini od 0,80 m.n.m, djelomično je spriječeno da se Baćinska jezera tijekom ljeta i rane jeseni u periodu minimalnih voda dodatno zaslanjuju uzimajući u obzir da je pri niskom vodostaju Baćinskih jezera te visokim nivoima mora javljao direktni prodor slane vode u jezera kao posljedica najniže kote izlazne građevine (bez praga 0,40 m), a maksimalnog nivoa mora - 0,80 m.n.m (Bonacci i Švonja, 1984).

### 3. VRGORSKO POLJE

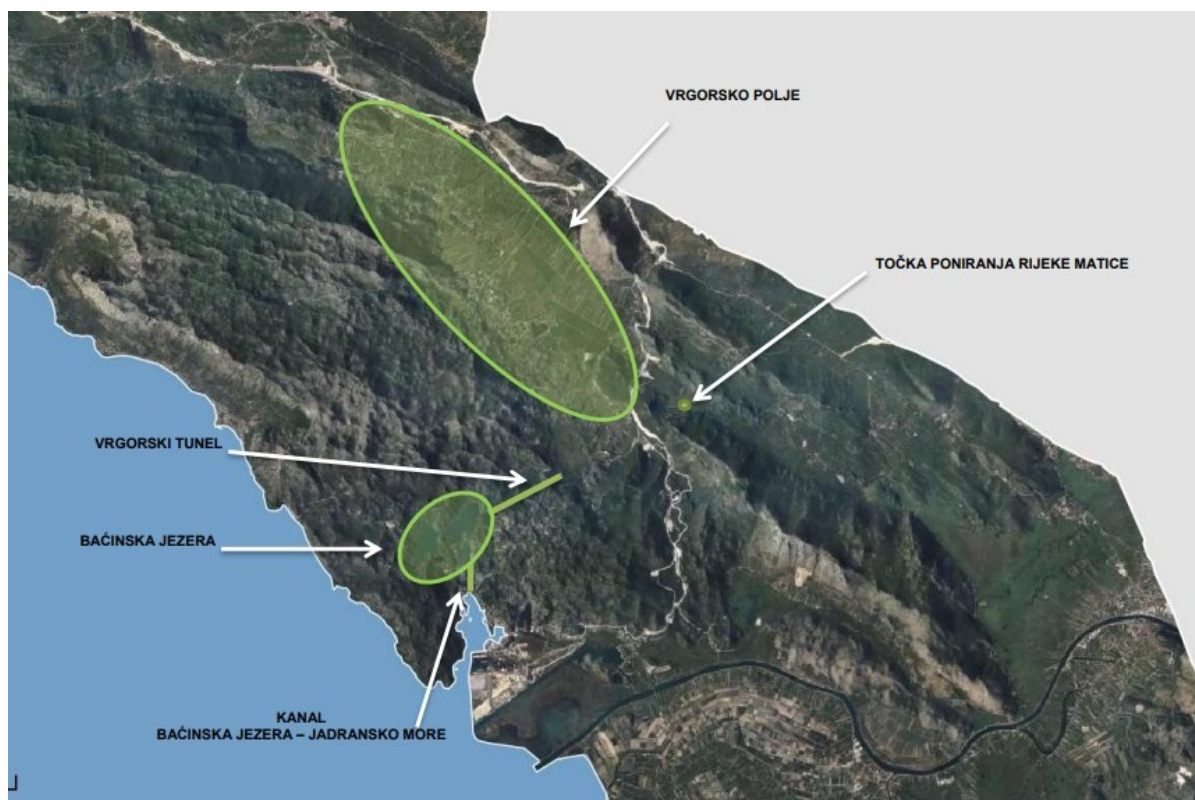
Vrgorsko polje predstavlja karakteristično krško polje na čijem sjeveroistočnom i sjevernom dijelu izvire vode, dok na jugozapadnoj i zapadnoj strani poniru. Razvedeni reljef Vrgorskog polja orijentiran je u dinaridskom smjeru (sjeverozapad-jugoistok) u kojem se ističu krške zaravni, krška polja i planinsko područje. Od sjeverozapada prema jugoistoku polja se spuštaju sve do donjeg toka i ušća rijeke Neretve. Najniže kote nalaze se u razini mora, a najviše se nalaze na 1.700,00 m.n.m., uzimajući u obzir razliku u nadmorskoj visini radi se o području razvedenog reljefa. (EKONERG d.o.o., 2008).

Na Slici 15. prikazano je Vrgoračko polje i rijeka Matica u ljetnim mjesecima. Nakon probijanja tunela između polja i Baćinskih jezera područje je postalo najveće vinogorje u Republici Hrvatskoj (<https://visitploce.com/hr/stasevica-i-polje-jezero/>).



Slika 15. Prikaz Vrgoračkog polja i Rijeke Matice; preuzeto sa: (<https://visitploce.com/hr/stasevica-i-polje-jezero/>)

Polje je s južne strane okruženo planinski masivom Rilić (918,00 m), koji se od područja Staševice pruža prema sjeverozapadu i nastavlja dalje na Biokovo. U smjeru jugoistoka, do doline Neretve, teren je većim djelom omeđen vrhovima visine od 300,00 do 450,00 metara. Na području sjeverozapadne strane Vrgorskog polja najistaknutija morfološka pojava je planina Matokit, najviši vrh planine predstavlja Sv. Rok (1.062,00 m). Na području jugozapadne strane nalazi se depresija „Bunina“, bez stalnog izvora. Na Slici. 16 shematski je prikazano područje Vrgorskog polja i Baćinskih jezera s pripadajućim tunelima (EKONERG d.o.o., 2008).



Slika 16. Shematski prikaz Vrgorskog polja i Baćinskih jezera s pripadajućim tunelima; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

Tijekom kišnog dijela godine dotoci vode su znatno veći od upojnih mogućnosti (kapaciteta ponora). Kao rezultat toga nastaju pretponorske retencije, koje se značajno prošire i poplave veći dio polja. Na području Vrgoračkog polja postoji jedini površinski vodotok, rijeka Matica, koja se formira u sjeverozapadnom dijelu polja. Meandrirajući jugoistočno koritom ponire. Na zapadnoj strani središnjeg dijela Vrgoračkog polja uz korito rijeke Matice u Staševici, u Spilicama, pojavljuju se značajni ponori. Prema jugoistoku otječe dio rijeke Matice, gdje se kontrolirano upušta u korito na području predjela Jezerce i uvire duž ponorske zone s najvećim ponorom Crni Vir (EKONERG d.o.o., 2008).

Poplave na području Vrgorskog polja nastaju kao posljedica podzemnog dotoka voda sa sjeverozapadnog dijela preko nekoliko stalnih i povremenih izvora koji se vodom snabdijevaju iz: ponora u blizini naselja Maići u Imotsko-Bekijskom polju, krške uvale Kokorića, polja Rastok, karbonatnog područja Župe Vrgoračke, vjerojatno iz polja Jezerac te u manjoj mjeri s vlastitog orografskog sliva. Površina orografskog sliva na području Vrgorskog polja procjenjuje se na približno 120,00 km<sup>2</sup>, shodno tome, količine površinskog dotoka u pojedinim meteorološkim uvjetima mogu predstavljati bitan utjecaj osobito kada poplave zahvaćaju šire područje. Bitnu ulogu na izdašnost ponora imaju i razine podzemnih voda na području okolnog

krškog masiva. Do izgradnje odvodnog tunela Krotuša (godina gradnje 1938.), pomoću kojeg se vode iz Vrgorskog polja evakuiraju u Baćinska jezera te dalje postojećim tunelom Baćina i kanalom prema Jadranskom moru, Vrgorsko polje se odvodnjavalo isključivo putem ponora ograničenog kapaciteta. Rezultat toga je pojava dugotrajnih proljetnih i zimskih poplava u polju. Ponori najvećeg kapaciteta nalaze se na jugoistočnom rubu polja (Krotuša, Staševica, Crni Vir i Umčane). Pojedini ponori djeluju kao estavele. Vremenski se najviše razine poplava u Vrgorskopolju podudaraju s maksimalnim vodostajem u polju Rastok (Fidon d.o.o., 2020).

U prosincu 2020., godine uslijed velikih količina oborina na području Vrgorskopolja došlo je do izlivanja rijeka Matice, Rastoka i Matice Vrgorske uslijed čega je poplavljeno više od 1.500 hektara poljoprivrednih površina u Vrgorskopolju i polju Rastok. Zbog potreba obrane od poplava izgrađeno je oko 100,00 metara zečjih nasipa te je postavljeno 120,00 metara box barijera. Na Slici 17. prikazano je poplavljeno područje Vrgorskopolja, prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda na mjernoj postaji Raščane u periodu od 03.prosina do 09.prosina 2020. godine na području Dalmatinske zagore zabilježene su ekstremne količine oborina, u prosjeku više 200 mm. Uzimajući u obzir samu prirodu krškog terena izrazito je teško provoditi obranu od poplava zbog pojave novih izvora. (<https://www.voda.hr/hr/novosti/poplave-na-vrgorackom-podrucju-1>).



Slika 17. Poplave na Vrgoračkom području u prosincu 2020. godine; preuzeto sa: (<https://www.voda.hr/hr/novosti/poplave-na-vrgorackom-podrucju-1>)

### 3.1. Vodni režim Vrgorskog polja

Vrgorsko polje predstavlja tipično zatvoreno polje u kršu. Na području Dinarida nalaze se slični krški fenomeni. Riječ je o depresijama u vapnenačkom kršu relativno ravnog dna s vidljivim blagim padom s područja uzvodnih izvorišnih zona do područja nizvodnih ponorskih zona. Vrgorsko polje karakterizira aluvijalna dolina obrubljena relativno strmim te golim vapnenačkim stijenama. Jedinstveni problem svih polja u kršu, pa tako i Vrgorskog leži u činjenici da do plavljenja najnižih dijelova dolazi u hladnom i vlažnom razdoblju godine. Najčešće je to razdoblje od listopada do travnja. Osnovni uzrok dugotrajnih poplava odnosi se na nedovoljnu izdašnost evakuacijskih puteva. Na područjima zatvorenih polja u kršu, kao prirodni evakuacijski putevi služe isključivo ponori ili točnije rečeno ponorske zone (Bonacci, 1986.). Na Slici 18. prikazan je položaj Vrgorskog polja u odnosu na polja višeg horizonta (Jezerac, Rastok, Ljubuško polje) te na niže horizonte (Baćinska jezera, Neretva i Jadransko more) u koje otječu vode iz Vrgorskog polja. Na predmetnoj slici nalaze se dvije meteorološke postaje (Vrgorac i Ljubuški) i pet hidrometeoroloških postaja na kojima se kontrolira proces dotjecanja i istjecanja u i iz Vrgorskog polja.

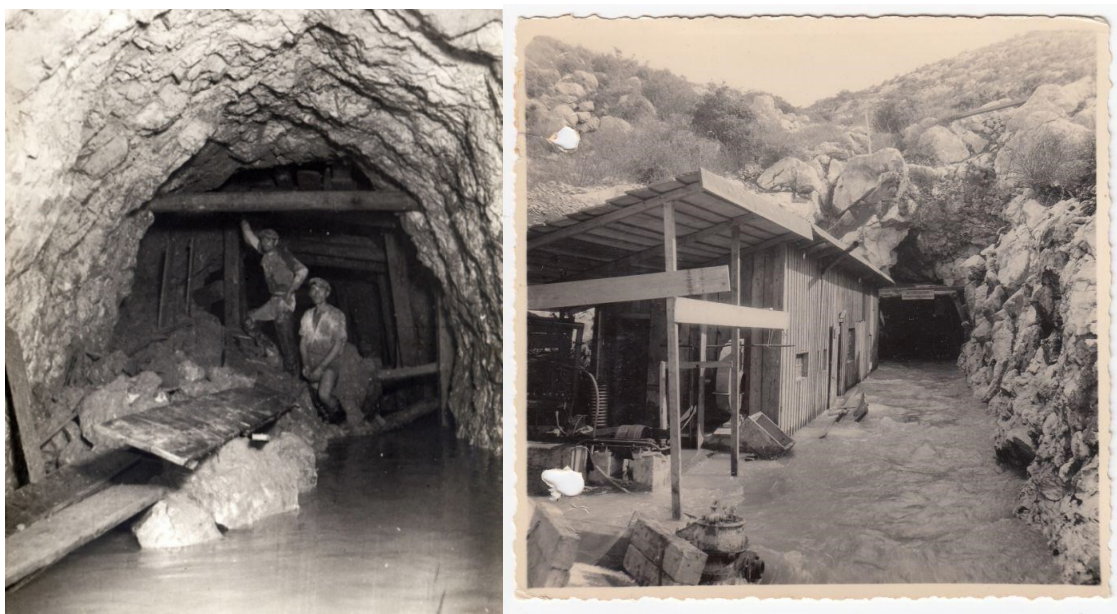


Slika 18. Prikaz Vrgorskog polja u odnosu na okolno područje; preuzeto sa: (Ožanić, N i sur., 2005)

### 3.2. Vrgorski tunel

U studenom, 1938. godine iz Vrgoračkog polja prema Baćinskim jezerima prokopan je Vrgorski tunel. U cjelokupnoj dužini od 2.190,00 metara, tunel je iskopan u gornjokrednim vapnencima. Podna obloga tunela je betonirana, dok su bokovi i svod u velikoj mjeri nakon iskopa ostavljeni u prirodnom stanju. Određene pozicije tunela (velike kaverne i pukotine) su iz sigurnosnih razloga zaštićene od urušavanja na način da su betonirane ili obložene kamenom u punom profilu. Svod tunela je betoniran a bočni zidovi obzidani kamenom. Ulazni portal tunela sastoji se od građevine za manipulaciju grube rešetke, koja je trenutno u derutnom stanju. Od strane Hrvatskih voda u planu je istu sanirati i vratiti prvobitno stanje. (EKONERG d.o.o., 2008).

Izgradnja samog tunela trajala je u periodu od 1934. do 1938. godine. U razdoblju od prve dvije godine radovi su se izvodili ručno. Kompresor pomoću kojeg se stijena bušila strojno, na gradilište je stigao pri kraju radova. Tunel se na pojedinim pozicijama minirao. Na Slici 19. prikazane su pojedine faze radova (godine nisu dostupne autoru rada). Na izvođenju meliorativnih radova bila je zadužena „Vodna zajednica“ iz Splita čiji su predstavnici osnovali svoj pogon u Vrgorcu. Na ulaznom dijelu tunela zbog potreba izvlačenja iskopanog i usitnjenog materijala je izgrađen šaht. I danas su vidljivi ostaci deponija materijala, kao i ulaz kroz koji je materijal pomoću dizala transportiran (<https://ploce.com.hr/regija/ante-erak-malo-detaljnije-o-izgradnji-tunela-maricevac/>).



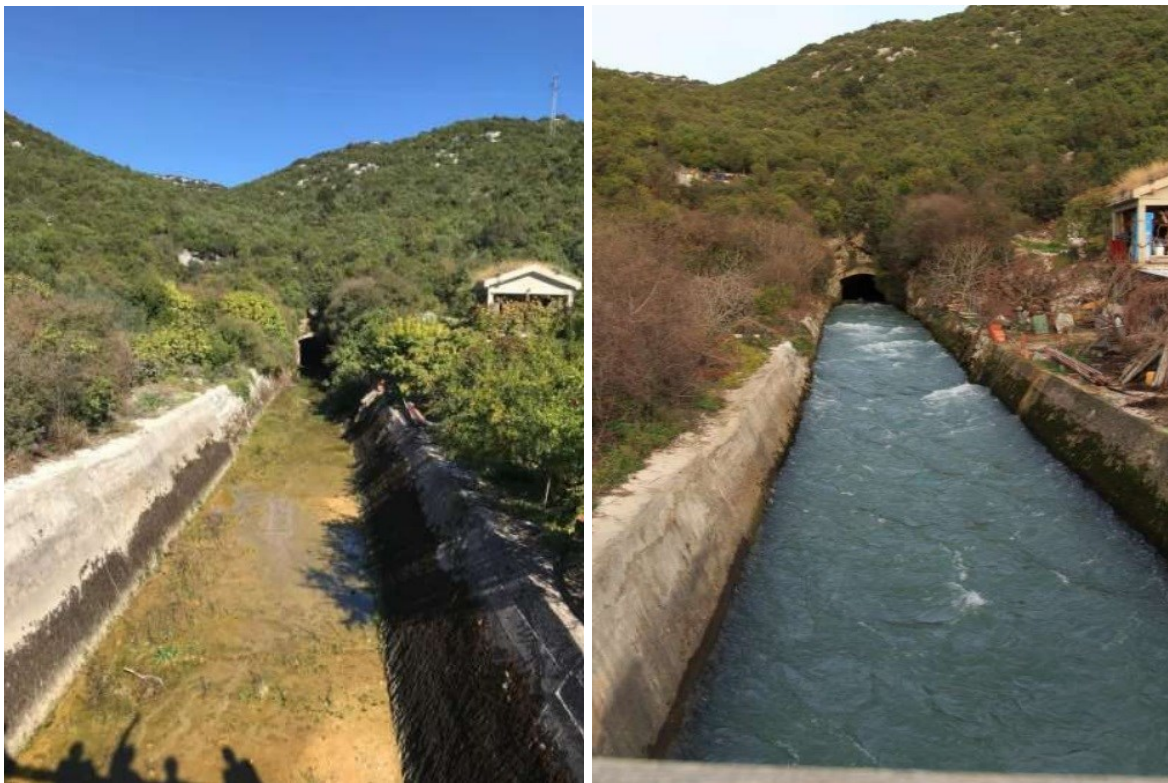
Slika 19. Pojedine faze radova na probijanju odvodnog tunela Krotuša (Vrgorski tunel); preuzeto sa: (<https://ploce.com.hr/regija/ante-erak-malo-detaljnije-o-izgradnji-tunela-maricevac/>)

Prema hidrološkim analizama i krivulji trajanja protoka, Vrgorski tunel je u kišnom periodu u prosječnoj hidrološkoj godini u potpunosti potopljen 21 dan pri protocima  $\geq 40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na Slici 20. prikazan je ulazni dio tunela Vrgorac u suhom i kišnom periodu (EKONERG d.o.o., 2008).



Slika 20. Ulazni dio tunela Vrgorac u suhom periodu (lijevo) i kišnom periodu (desno); preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

Na Slici 21. prikazan je izlazni dio tunela Vrgorac u suhom i kišnom periodu.



Slika 21. Izlazni dio tunela u suhom periodu (lijevo) i kišnom periodu (desno); preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

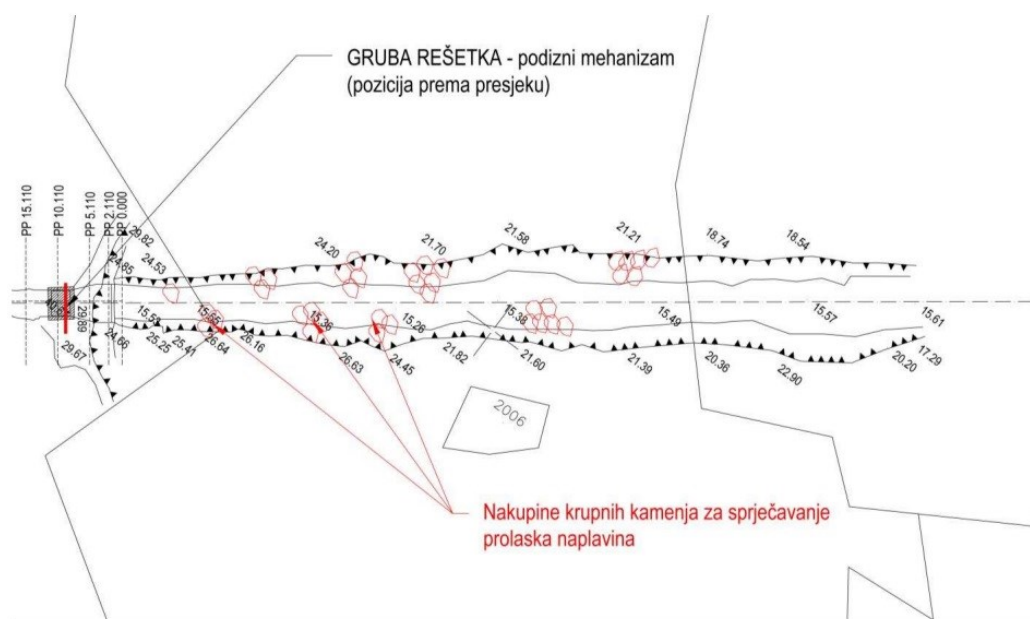


Na Slici 22. prikazan je vanjski i unutarnji izgled građevine za manipulaciju grube rešetke koja se trenutno nalazi u vrlo lošem stanju (EKONERG d.o.o., 2008).



Slika 22. Građevina za manipulaciju grube rešetke u sklopu tunela Vrgorac; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

Na Slici 23. tlocrtno je prikazan ulazni dio Vrgorskog tunela, označena je pozicija grube rešetke i nakupine krupnih kamenja koje služe za sprječavanje prolaska naplavina.



Slika 23. Situacijski prikaz ulaznog dijela Vrgorskog tunela; preuzeto sa: (EKONERG d.o.o., 2008)

#### 4. METODOLOGIJA OBRADJE PODATAKA

Prirodni sustav predstavlja dinamički sustav, koji je promjenjiv u prostoru i vremenu. Navedeni sustav se obrađuje statističkim metodama. Statistička metoda čini znanstvenu metodu koja se bavi prikupljanjem, obradom i interpretiranjem podataka različitih vrsta. Svrha primjene statističkih metoda je (Ožanić, 2004):

- *„donošenje suda o osobitostima promatranih pojava,*
- *ispitivanje različitih pretpostavki,*
- *procjena karakterističnih veličina,*
- *odabir statističkih modela koji generiraju pojave,*
- *samo predviđanje pojava“.*

U nastavku diplomskog rada prikazane su statističke metode kojima su se tumačili i analizirali podaci korišteni prilikom hidroloških obrada podataka vodnog režima Baćinskih jezera.

#### 4.1. Korelacijska/regresijska analiza

Korelacijska (regresijska) analiza svodi se na postupak analize određivanja statističke povezanosti između dvije analizirane hidrološke varijable, pri čemu se primjenjuje Gaussov zakon s dvije varijable (Ožanić, 2004). Zbog čestih potreba popunjavanja nedostajućih podataka koji se odnose na vremensko razdoblje koje se proučava, pojava korelacijske analize je sve učestalija. Svrha je popuniti potrebne podatke kako bi se dobila jasna slika svih analiziranih vrijednosti koje su se proučavale.

Ako se podaci s jedne mjerne postaje označe s  $x_i$ , a podaci s druge mjerne postaje s  $y_i$ , dobiti će se polje točaka za koje je moguće odrediti regresijske pravce, a oni glase:  $y = R_y \cdot x + b_1$  i  $x = R_x \cdot y + b_2$ .

Pravci su označeni jednadžbama koje se određuju pomoću metoda najmanjih kvadrata odstupanja od osi  $x$  i  $y$ , a prolaze zajedničkom točkom prosječnih vrijednosti te zatvaraju kut  $\beta$ . Za definiranje položaja tih pravaca regresije potrebno je proračunati prosječne vrijednosti serije podataka oba pravca, te kutove njihova nagiba.

Prema Ožanić (2004), položaj pravaca određuje se pomoću analize iz njihovih vrijednosti a prema sljedećem izrazu:

$$tg\alpha_1 = R_y = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})}; tg\alpha_2 = R_x = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_1^n (y_i - \bar{y})}$$

Za potpuno definiranje položaja i jednadžbi pravaca regresije, bitno je odrediti i odsječke tih pravaca na osi  $y$ , izrazi za to glase:

$$b_1 = y - R_y \cdot x$$

$$b_2 = x - R_x \cdot y$$

Jačinu veze između varijabli  $x$  i  $y$ , čini umnožak regresijskih koeficijenata  $R_x$  i  $R_y$ . Koeficijent korelacije » $r$ « predstavlja srednju geometrijsku vrijednosti tog umnoška.

$$r = \sqrt{R_x \cdot R_y}$$

Ukoliko se podaci nalaze na jednom pravcu regresije, odnosno ukoliko se pravci regresije poklapaju, velika je vjerojatnost da će umnožak  $R_x$  i  $R_y$  biti jednak jedinici, uobičajeno da »« varira između -1 i 1, u tom slučaju vrijedi sljedeće:

- za  $r = 1$  postojanje čvrste korelacijske veze,
- za  $1 > r > 0,75$  postojanje relativno čvrste korelacijske veze,
- za  $0,75 > r > 0,50$  postojanje slabe korelacijske veze,
- za  $r < 0,50$  ne postojanje značajne korelacijske veze (Ožanić, 2004.)

#### 4.2. Analiza homogenosti

Prema Ožanić (2004): „*Statistički skup čini skupinu elemenata koji imaju određeno zajedničko obilježje. Kako bi se iz skupa statističkih podataka mogli izvesti zaključci o vrsti promatranih podataka, skup mora zadovoljiti određene kriterije od kojih se jedan odnosi i na uvjet homogenosti*“.

Uvjet homogenosti se najjednostavnije ispituje preko tzv. krivulje dvostrukih masa. Ispitivanje se provodi na način da se za dvije stanice koje se ispituju, formiraju nizovi promatranih vrijednosti podataka. Vrijednost podataka prvog člana niza sačinjavaju njihove stvarno iščitane vrijednosti, dok drugi par čini očitana vrijednost podataka drugog člana niza pribrojena prvom članu, sljedeći (treći) član čine zbroj prva dva člana uvećana za treći član – svakom sljedećem paru pribrojava se suma prethodnih članova. Formiranje nizova prikazano je u nastavku, gdje  $A_{1-3}$  označavaju sume vrijednosti podataka, dok  $a_{1-3}$  čine očitane vrijednosti (Ožanić, 2004.)

$$A_1 = a_1$$

$$A_2 = A_1 + a_2;$$

$$A_3 = A_2 + a_3.$$

### 4.3. Osnovna statistička obrada podataka

Osnovnu statističku obradu podataka u hidrologiji možemo podijeliti u pet glavnih obrada (Ožanić, 2004):

- „Srednje vrijednosti ili aritmetička sredina
- Standardna devijacija
- Koeficijent varijacije
- Koeficijent asimetrije
- Minimalne i maksimalne vrijednosti“.

Aritmetička sredina ili srednja vrijednost, dobiva se sumom svih vrijednosti članova grupe te potom dijeljenjem izračunate sume sa brojem pribrojnika. Kada govorimo o velikoj količini podataka, normalno je analizirati neke važne vrijednosti koje opisuju te podatke. Najmanja i najveća vrijednost govore o rasponu podataka koje imamo. Uglavnom se aritmetička sredina naziva i prosjek. Za pojedini niz brojeva, primjerice  $x_1, x_2, \dots, x_N$  aritmetička sredina definirana je sljedećom formulom (Tadić, 2016.):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Moment drugog reda naziva se varijanca ili srednje kvadratno odstupanje. Varijanca označava sumu kvadrata odstupanja svakog člana niza  $x_i$  u odnosu na aritmetičku sredinu niza, koja je pomnožena s odgovarajućom učestalosti, te podijeljena sa brojem elemenata uzorka. Za pojedini niz brojeva, primjerice  $x_1, x_2, \dots, x_N$  formula glasi (Franjić, 2012.):

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

Standardna devijacija predstavlja prosječno kvadratno odstupanje pojedinih vrijednosti članova od aritmetičke vrijednosti. Najčešće se upotrebljava za mjerenje raspodijeljenosti članova niza na prosječne vrijednosti. Formula za standardnu devijaciju glasi (Tadić, 2016.):

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

Relativna standardna devijacija ili koeficijent varijacije predstavlja omjer između aritmetičke sredine i standardne devijacije, služi za bezdimenzionalni prikaz mjere raspodijeljenosti niza, formula glasi (Franjić, 2012.):

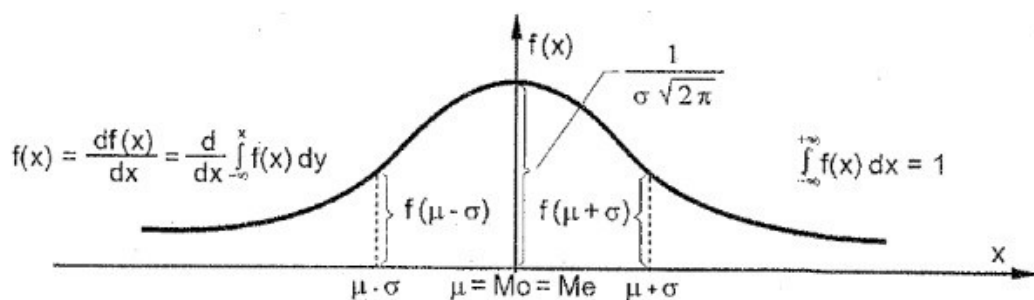
$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

#### 4.4. Analiza vjerojatnosti karakterističnih pokazatelja

Matematički izraz kojim se kvantitativno opisuje slučajnost pojavljivanja promatranog događaja naziva se vjerojatnost. Obzirom da postoji mogućnost prezentiranja hidroloških vrijednosti slučajnim varijablama, u hidrologiju je uvedena vjerojatnost, čiji se parametri mogu usporediti spoznajama o statičkoj učestalosti i trajnosti (Ožanić, N., 2005.)

Zbog relativno dobre prilagodbe hidrološkim događajima te same jednostavnosti primjene, prema provedenim analizama vjerojatnosti korištene su Gaussova i Gumbelova funkcija raspodjele.

**Gaussova funkcija raspodjele vjerojatnosti** se koristi kao standardna raspodjela za uspoređivanje sa drugim funkcijama raspodjele. Također, predstavlja najuobičajeniju funkciju raspodjele. Na Slici 24. prikazan je izgled Gaussove funkcije raspodjele karakteristično zvonolik, simetrični oblik definiran u rasponu od  $-\infty$  do  $+\infty$  (Hrelja, 2000).



Slika 24. Karakteristični izgled Gaussove (normalne) funkcije raspodjele gustoće vjerojatnosti; preuzeto sa: (Hrelja, 2000.)

Krivulja na slici 24. opisuje se pomoću dvoparametarske funkcije:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < +\infty$$

Gore navedena dva parametra predstavljaju očekivanu ili srednju vrijednost  $\mu$  oko koje su pozicionirane vrijednosti slučajne varijable i standardna devijacija  $\sigma$ , koja pokazuje koliko su disperzirana pojavljivanja slučajne varijable oko njene srednje vrijednosti. Navedeni parametri se procjenjuju iz raspoloživog uzorka. Prethodni izraz predstavlja tzv. uopćeni oblik normalne funkcije raspodjele sa iskazanom srednjom (očekivanom) vrijednosti ( $\mu = \bar{x}$ ) i standardnom devijacijom ( $\sigma_x = \sigma$ ).

Normalna funkcija iz gore navedene jednadžbe je definirana za svaku realnu vrijednost  $x$ . Os  $x$  je asimptota, a površina pod krivuljom je jedinica. Srednja vrijednost, medijan  $Me$  i modus  $Mo$  predstavljaju identične izraze, izraz glasi (Hrelja, 2000):

$$\mu = Me = Mo$$

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

**Gumbelova funkcija raspodjele vjerojatnosti** je odnosu na Gaussovu raspodjelu također dvoparameterska s razlikom u odnosu na simetričnost koja je kod Gambela nesimetrična. U hidrologiji se uglavnom koristi za dobivanje maksimalnih godišnjih protoka, iznimno je važna kod analize velikih voda zbog raspodjele određene serije vrijednosti prema zakonu ekstremnih vrijednosti (Ožanić, N., 2005.). Prema Gumbelovoj teoriji, vjerojatnost pojavljivanja za maksimalne godišnje protoke se određuje pomoću eksponencijalne funkcije, koja glasi:

$$P_{(Q_m)} = \alpha e^{-\alpha(Q_M - Q_*)} \cdot e^{-e^{-\alpha(Q_M - Q_*)}}$$

U gore navedenom izrazu  $Q_*$  i  $\alpha$  označavaju parametre Gumbelove raspodjele, dok  $Q_*$  označava mod Gumbelove krivulje, prikazuje se sljedećim izrazom:

$$Q_* = \bar{Q}_M - \frac{0,577}{\alpha}$$

U navedenom izrazu  $\bar{Q}_M$  označava prosječan maksimalni godišnji protok, vrijednost 0,577 predstavlja Eulerovu konstantu, a parametar  $\alpha$  definira se izrazom:

$$\frac{1}{\alpha} = 0,780 \cdot \sigma$$

Parametar  $\sigma$  označava standardno odstupanje. Gumbel je definirao odnos parametara  $p_{1(Q_M)}$  i parametra  $z$ , pa je iz toga moguće odrediti protoke različitog reda pojavljivanja na temelju izraza (Žugaj, 2009):

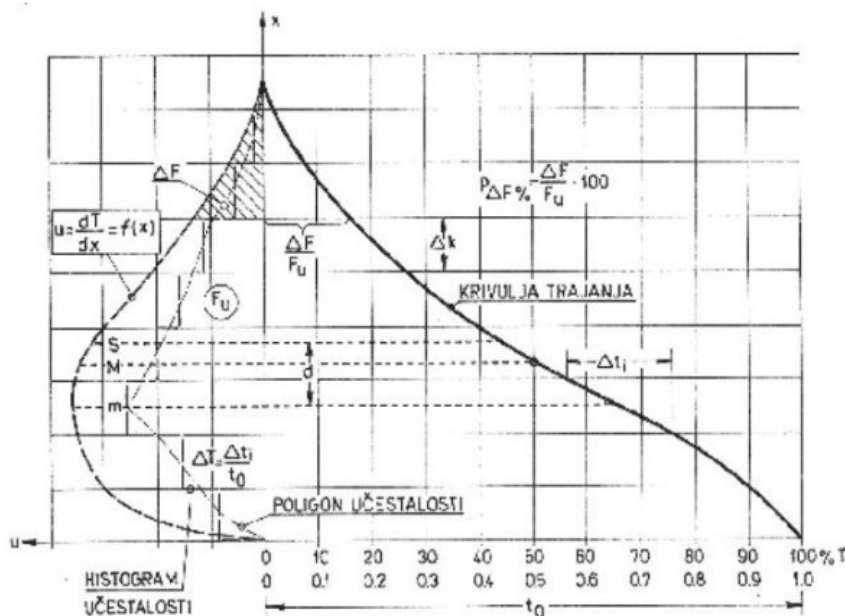
$$Q_{Mp} = Q_* \cdot \frac{1}{\alpha} z$$

#### 4.5. Učestalost i trajnost pojave

Učestalost se može tumačiti kao broj pojavljivanja određene vrijednosti u nekom određenom razdoblju zapažanja. Grafičko prikazivanje učestalosti u koordinatnom sustavu naziva se raspodjela učestalosti ili histogram. Učestalost pojavljivanja se može aproksimirati neprekidnom krivuljom koja se naziva krivulja učestalosti.

Suma učestalosti određene vrijednosti čini sumu učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obratno. Suma učestalosti predstavlja trajnost i grafički se prikazuje krivuljom trajanja. Krivulja trajanja je krivulja na kojoj je vidljiv udio vremena ili broj dana u godini tijekom koje je neka vrijednost, primjerice protok ili vodostaj jednak ili veći u odnosu na dane količine bez obzira na kronološki slijed (Ožanić, 2004.).

Grafički prikaz krivulja učestalosti i trajnosti je prikazan na Slici 25. na kojoj je krivulja trajanja desno od osi  $y$ , dok je krivulja učestalosti lijevo od osi  $y$  (Ožanić, 2004.)



Slika 25. Grafički prikaz krivulja učestalosti i trajnosti; preuzeto iz predavanja (Ožanić, 2004.)



## 5. RASPOLOŽIVI PODACI

Osnovni hidrološki (raspoloživi) podaci nastaju kao rezultat motrenja (mjerenja i opažanja) na svim hidrološkim postajama mreže površinskih i podzemnih voda na teritoriju Republike Hrvatske. Dodatnim proračunima mogu nastati određeni izvedeni hidrološki podaci (npr. pronos nanosa, kao umnožak koncentracije i protoka). Mreža svih aktivnih postaja površinskih voda obuhvaća otprilike 450 hidroloških postaja, dok mreža svih aktivnih postaja podzemnih voda obuhvaća otprilike 700 hidroloških postaja (<https://hidro.dhz.hr/>). Za analizu osnovnih hidroloških podataka područja Baćinskih jezera prikupljeni su podaci sa nekoliko hidroloških postaja na kojima mjerenja i motrenja provodi Državni hidrometeorološki zavod iz Zagreba. Na području odvodnog tunela Vrgorskog polja koji služi za evakuiranje voda iz Vrgorskog polja prema nižem horizontu odnosno Baćinskim jezerima podlogu za utvrđivanje hidroloških prilika čine hidrološke stanice i raspoloživa mjerenja. U Tablici 4. prikazani su podaci sa analiziranih hidroloških stanica na području Baćinskih jezera.

Tablica 4. Podaci analiziranih hidroloških stanica; podaci preuzeti sa: (<https://hidro.dhz.hr/>): (izradio autor)

Redni broj	Šifra	Stanica	Vodotok	Kota „0“ (m.n.m.)	Početak (god)	Raspoloživi podaci	Status
1.	7151	Staševica	Matica Vrgorska	20,610	02.09.1961.	(od 1963. do 1968. godine) i (od 1973. do 2020. godine)	Aktivna
2.	7204	Krotuša	Matica Vrgorska	18,233	07.09.1961.	(od 1963. do 1971. godine) i (od 1973. do 2020. godine)	Aktivna
3.	7136	Šipak	Baćinska jezera	0,236	01.07.1894.	(od 1923. do 1942. godine), (od 1945. do 1958. godine) i (od 1973. do 2020. godine.)	Aktivna
4.	7126	Baćina	Klokun	0,143	01.06.1954.	(od 1954. do 1955. godine) i (od 1972. do 2020. godine)	Aktivna

### 5.1. Podloge

Uzimajući u obzir da analizirana jezera komuniciraju krškim vodonosnikom, svojim površinskim vodotocima i morem, a navedeni međusobni utjecaji jezera te njihovih okruženja nisu ograničeni samo na jezerski prostor, nego i puno šire okolno područje - vodni režim možemo smatrati kompleksnim. Na Slici 26. prikazani su, gledajući sa sjevernog dijela prema jugu, postaja Staševica (7151), postaja Krotuša (7204), tunel Krotuša (Vrgorsko polje – Baćinska jezera), tunel (Baćinska jezera – Jadransko more), postaja Baćina (7126) i postaja Šipak (7136).



Slika 26. Prikaz hidroloških postaja analiziranog područja; podloga preuzeta sa: (<https://hidro.dhz.hr/>); (izradio autor)

Prilikom analiziranja vodnog režima Baćinskih jezera kao ulazni podaci koristili su se podaci sa hidroloških postaja Baćina, Krotuša, Šipak i Staševica u promatranom periodu od 1923. do 2021. godine, prikazani u Tablici 5., u nastavku:

Tablica 5. Pregled Raspoloživih (ulaznih) podataka, kao podloga za analizu vodnog režima Baćinskih jezera; (izradio autor)

	1	2	3	4	LEGENDA	
Postaja	BAĆINA	KROTUŠA	ŠIPAK	STAŠEVICA		
Vodotok/ jezero	Klokun	Matica Vrgorska	Baćinska jezera	Matica Vrgorska	SVI PODACI	
Šifra postaje	7126	7204	7136	7151	DJELOMIČNI PODACI	
1923			H		NEMA PODATAKA	
1924			H			
1925			H			
1926			H		PROTOKE	Q
1927			H			
1928			H		VODOSTAJI	H
1929			H			
1930			H			
1931			H			
1932			H			
1933			H			
1934			H			
1935			H			
1936			H			
1937			H			
1938			H			
1939			H			
1940			H			
1941			H			
1942			H			
1943						
1944						
1945						
1946			H			
1947			H			
1948			H			
1949			H			
1950			H			
1951			H			
1952			H			
1953			H			
1954			H			
1955			H			
1956			H			
1957			H			
1958			H			
1959						
1960						
1961						
1962						
1963		H,Q		H		
1964		H,Q		H		
1965		H,Q		H		
1966		H,Q		H		
1967		H,Q		H		
1968		H,Q		H		
1969		H,Q				
1970		H,Q				
1971		H,Q				

1972	H			
1973	H	H	H,Q	H
1974	H	H	H,Q	H
1975	H	H	H,Q	H
1976	H	H	H,Q	H
1977	H	H	H,Q	H
1978	H	H,Q	H,Q	H
1979	H,Q	H,Q	H,Q	H
1980	H,Q	H,Q	H,Q	H
1981	H,Q	H,Q	H,Q	H
1982	H,Q	H,Q	H,Q	H
1983	H,Q	H,Q	H,Q	H
1984	H,Q	H,Q	H,Q	H
1985	H,Q	H,Q	H,Q	H
1986	H,Q	H,Q	H,Q	H
1987	H,Q	H,Q	H,Q	H
1988	H,Q	H,Q	H,Q	H
1989	H,Q	H,Q	H,Q	H
1990	H,Q	H,Q	H,Q	H
1991	H,Q	H,Q	H,Q	H
1992	H,Q	H,Q	H,Q	H
1993	H,Q	H,Q	H,Q	H
1994	H,Q	H,Q	H,Q	H
1995	H,Q	H,Q	H,Q	H
1996	H,Q	H,Q	H,Q	H
1997	H,Q	H,Q	H,Q	H
1998	H,Q	H,Q	H,Q	H
1999	H,Q	H,Q	H,Q	H
2000	H,Q	H,Q	H,Q	H
2001	H,Q	H,Q	H,Q	H
2002	H,Q	H,Q	H,Q	H
2003	H,Q	H,Q	H,Q	H
2004	H,Q	H,Q	H,Q	H
2005	H,Q	H,Q	H,Q	H
2006	H,Q	H,Q	H,Q	H
2007	H,Q	H,Q	H,Q	H
2008	H,Q	H,Q	H,Q	H
2009	H,Q	H,Q	H,Q	H
2010	H,Q	H,Q	H,Q	H
2011	H,Q	H,Q	H,Q	H
2012	H,Q	H,Q	H,Q	H
2013	H,Q	H,Q	H,Q	H
2014	H,Q	H,Q	H,Q	H
2015	H,Q	H,Q	H,Q	H
2016	H,Q	H,Q	H,Q	H
2017	H,Q	H,Q	H,Q	H
2018	H,Q	H,Q	H,Q	H
2019	H,Q	H,Q	H,Q	H
2020	H,Q	H	H,Q	H
2021	H	H	H	H

Legenda:

	Svi podaci	<b>H</b>	<b>Vodostaj</b>
	Djelomično podaci	<b>Q</b>	<b>Protoka</b>
	Nema podataka		

## 5.2. Postaja Staševica – Matica Vrgorska

Početak rada mjerne postaje Staševica je 02.09.1961. Postaja mjeri hidrološke podatke vodotoka Matica Vrgorska. Kota nule vodokaza nalazi se na 20.610 m n/m. Vodostaj se mjerio u dva razdoblja (od 1963. do 1968. godine) i (od 1973. do 2020. godine). Broj postaje Staševica je 7151, postaja posjeduje automatsku dojavu vodostaja. Najniži vodostaj je zabilježen 29.07.1982. godine, a iznosio je 12,00 cm. Najviši vodostaj je zabilježen 07.01.1965. godine, a iznosio je 693,00 cm. Na Slici 27. prikazano je područje postaje Staševica (<https://hidro.dhz.hr/>).



Slika 27. Prikaz mjerne postaje Staševica; preuzeto sa: (<https://hidro.dhz.hr/>)

## 5.3. Limnografska postaja Krotuša – Matica Vrgorska

Limnografska postaja Krotuša mjeri hidrološke podatke vodotoka Matica Vrgorska, broj postaje je 7204. Postaja je počela s radom 07.09.1961. Kota nule vodokaza nalazi se na 18,233 m n/m. Broj vodomjerenja je 166, a broj mjerenja profila 2. Vodostaj se mjerio u dva razdoblja (od 1963. do 1971. godine) i (od 1973. do 2020. godine). Najniži vodostaj je zabilježen 29.04.1963. godine, (vodostaj presušio). Najviši vodostaj je zabilježen 22.01.1970. godine, a iznosio je 962,00 cm. Protoci su se mjerili u dva razdoblja (od 1963. do 1971. godine) i (od 1978. do 2019. godine). Minimalan protok je zabilježen 29.04.1963. godine, (0,000 m<sup>3</sup>/s) Maksimalni protok je zabilježen 11.01.1996. godine, a iznosio je 48,87 m<sup>3</sup>/s. Na Slici 28.

prikazana je limnigrafska postaja Krotuša smještena neposredno s uzvodne strane odvodnog tunela iz Vrgorskog polja (<https://hidro.dhz.hr/>).



Slika 28. Prikaz mjerne postaje Krotuša; preuzeto sa: (<https://hidro.dhz.hr/>)

#### **5.4. Postaja Šipak – Baćinska jezera**

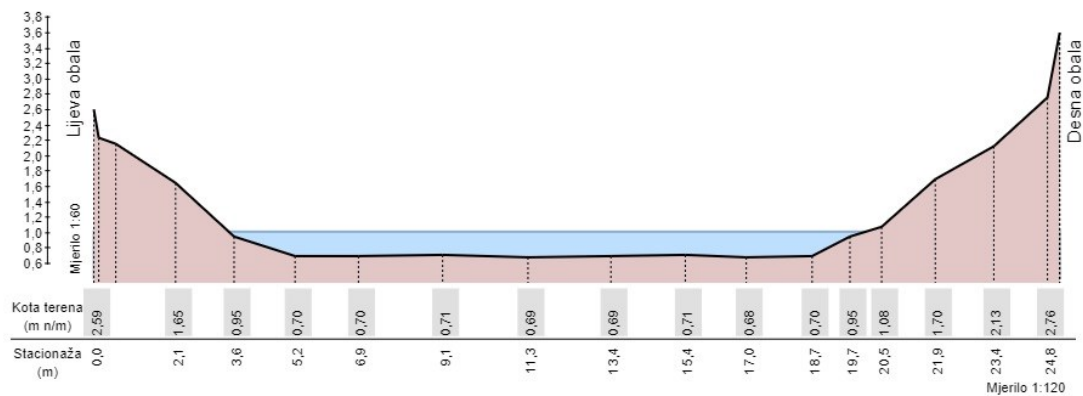
Mjerna postaja Šipak, broj postaje 7136, mjeri hidrološke podatke vodotoka Baćinska jezera. Početak rada postaje je 01.07.1894. Kota nule vodokaza nalazi se na 0,236 m n/m. Prva godina mjerenja vodostaja bila je 1923. godina, dok je prva godina mjerenja protoka bila 1973. godina. Postaja Šipak automatski šalje podatke vodostaja. Vodostaj se mjerio u tri razdoblja (od 1923. do 1942. godine), (od 1945. do 1958. godine) i (od 1973. do 2020. godine.). Najniži vodostaj je zabilježen 07.10.1985. godine, a iznosio je 14,00 cm, dok je najviši vodostaj zabilježen 12.02.1940. godine, a iznosio je 552,00 cm. Protok se mjerio u razdoblju od 1973. do 2020. godine, u navedenom razdoblju minimalni protok zabilježen je 15.07.2017. godine, iznosio je (0,003 m<sup>3</sup>/s). Maksimalni protok je zabilježen 02.12.1996. godine, a iznosio je 67,14 m<sup>3</sup>/s. Ukupno je napravljeno 148 mjerenja na 2 profila. Na Slici 29. vidljiva je konfiguracija terena

i sam poprečni presjek korita. Prilikom mjerenja (datum 11.12.2015.) vodostaj je iznosio 77,00 cm (<https://hidro.dhz.hr/>).

### POPREČNI PRESJEK KORITA

Šifra: 7136  
 Postaja: ŠIPAK  
 Vodotok: BAČINSKA JEZERA

Kota nule: 0,236 m n/m  
 Vodostaj: 77 cm  
 Datum mjerenja: 11. 12. 2015.



Slika 29. Poprečni presjek korita na mjerne postaji Šipak; preuzeto sa: (<https://hidro.dhz.hr/>)

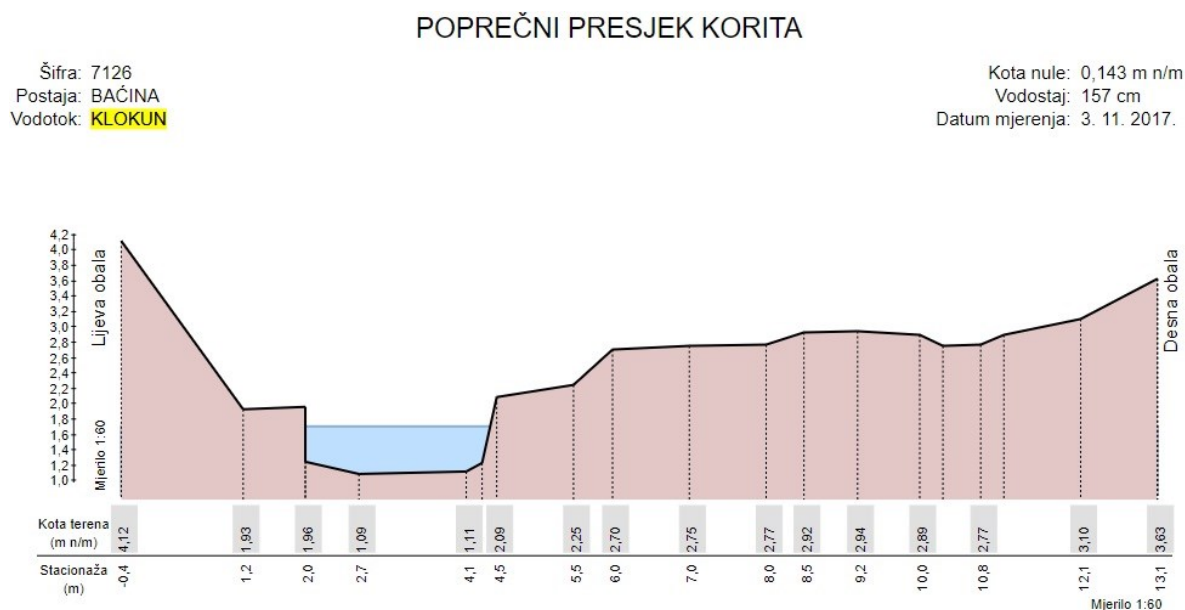
Na Slici 30. prikazano je područje automatske postaje Šipak smještene na Bačinskim jezerima (<https://hidro.dhz.hr/>).



Slika 30. Prikaz mjerne postaje Šipak; preuzeto sa: (<https://hidro.dhz.hr/>)

## 5.5. Limnografska postaja Baćina – Klokun

Mjerna postaja Baćina, broj postaje 7126, mjeri hidrološke podatke vodotoka Klokun. Početak limnografske rada postaje je 01.06.1954. Kota nule vodokaza nalazi se na 0,143 m n/m. Prva godina mjerenja vodostaja bila je 1954. godina, dok je prva godina mjerenja protoka bila 1979. godina. Vodostaj se mjerio u dva razdoblja. Najmanji vodostaj u mjerenom razdoblju (od 1954. do 1955. godine), je izmjeren 21.09.1954. godine, a iznosio je 105,00 cm, dok je maksimalni vodostaj izmjeren 03.11.1955. godine iznosio 336,00 cm. Najmanji vodostaj u mjerenom razdoblju (od 1972. do 2020. godine), je izmjeren 20.11.1978. godine, a iznosio je 122,00 cm, dok je maksimalni vodostaj izmjeren 01.01.1996. godine iznosio 406,00 cm. Protoci su se mjerili u dva razdoblja (od 1979. do 2001. godine) i (od 2008. do 2020. godine). Minimalan protok je zabilježen 05.11.2011. godine, (0,000 m<sup>3</sup>/s). Maksimalni protok je zabilježen 31.05.1980. godine, a iznosio je 7,081 m<sup>3</sup>/s. Ukupno je napravljeno 184 mjerenja na 4 profila. Na Slici 31. vidljiva je konfiguracija terena i sam poprečni presjek korita. Prilikom mjerenja (datum 03.11.2017.) vodostaj je iznosio 157,00 cm (<https://hidro.dhz.hr/>).



Slika 31. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Baćina; preuzeto sa: (<https://hidro.dhz.hr/>)

Izvor Klokun nalazi se istočno od Baćinskih jezera i sjeverno od grada Ploča na nadmorskoj visini od 1.5 m n.m. Voda izvire u malom jezeru te kanalom otječe prema jezeru Prikušinac. Površinu područja oko izvora većinom zauzimaju šumske i poljoprivredne površine.



## 6. REZULTATI OBRADJE PODATAKA

### 6.1. Osnovna statistička obrada podataka

#### MJERNA POSTAJA BAĆINA

Na mjernoj postaji Baćina koja se nalazi na izvoru Klokun, za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine, provedena je statistička analiza podataka mjesečnih te godišnjih protoka. U Tablici 6. prikazani su nakon statističke obrade, podaci o maksimalnim, srednjim i minimalnim protocima te su za promatrano razdoblje izračunate ekstremne godišnje vrijednosti protoka ( $X_{sr}$  – srednja vrijednost niza,  $St.dev$  – standardna devijacija,  $Cv$  – koeficijent varijacije). U priloženoj tablici, prosječni maksimalni protok iznosi 4,12 m<sup>3</sup>/s, prosječni protok iznosi 1,33 m<sup>3</sup>/s dok prosječni minimalni protok iznosi 0,064 m<sup>3</sup>/s.

Tablica 6. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na mjernoj postaji Baćina za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine: (izradio autor)

MJESEČNI I GODIŠNJI <b>MAKSIMUMI</b> PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	3,22	2,99	2,97	2,89	2,32	1,23	0,705	0,360	0,898	2,18	3,50	3,74	<b>4,12</b>
$st. dev.$	1,35	1,15	1,08	0,816	1,25	1,06	1,06	0,586	1,20	1,54	1,02	1,08	<b>1,06</b>
$Cv$	0,418	0,385	0,363	0,282	0,539	0,863	1,50	1,63	1,33	0,706	0,290	0,289	<b>0,258</b>
$Max$	5,64	5,56	5,51	4,83	7,08	3,67	5,32	2,41	4,21	6,55	6,30	6,64	<b>7,08</b>
$Min$	0,209	0,056	0,258	0,518	0,125	0,055	0,041	0,023	0,014	0,041	1,93	1,65	<b>3,10</b>
MJESEČNI I GODIŠNJI <b>SREDNJACI</b> PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	2,16	2,02	1,94	1,87	1,39	0,715	0,293	0,170	0,376	1,00	1,93	2,50	<b>1,33</b>
$st. dev.$	1,18	1,08	1,00	0,686	0,916	0,744	0,415	0,224	0,572	0,864	1,00	1,18	<b>0,507</b>
$Cv$	0,544	0,533	0,518	0,367	0,660	1,04	1,41	1,31	1,52	0,867	0,518	0,472	<b>0,382</b>
$Max$	4,82	4,26	4,20	2,94	4,10	2,73	2,15	1,07	2,21	2,72	4,63	4,54	<b>2,75</b>
$Min$	0,084	0,037	0,128	0,187	0,076	0,037	0,030	0,013	0,009	0,017	0,214	0,382	<b>0,360</b>
MJESEČNI I GODIŠNJI <b>MINIMUMI</b> PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	1,16	1,02	0,992	1,03	0,773	0,281	0,118	0,100	0,087	0,249	0,549	1,38	<b>0,064</b>
$st. dev.$	1,01	0,900	0,796	0,756	0,789	0,353	0,143	0,139	0,104	0,484	0,761	1,04	<b>0,090</b>
$Cv$	0,865	0,880	0,802	0,734	1,02	1,25	1,20	1,39	1,20	1,94	0,761	0,751	<b>1,40</b>
$Max$	4,07	2,87	2,75	2,75	3,04	1,71	0,627	0,747	0,517	2,25	0,761	3,04	<b>0,517</b>
$Min$	0,041	0,028	0,028	0,060	0,004	0,026	0,014	0,009	0,004	0,002	0,761	0,032	<b>0,000</b>

## MJERNA POSTAJA KROTUŠA

Na mjernoj postaji Krotuša za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine provedena je statistička analiza podataka mjesečnih te godišnjih protoka. U Tablici 7. prikazani su nakon statističke obrade, podaci o maksimalnim, srednjim i minimalnim protocima te su za promatrano razdoblje izračunate ekstremne godišnje vrijednosti protoka ( $X_{sr}$  – srednja vrijednost niza,  $St.dev$  – standardna devijacija,  $C_v$  – koeficijent varijacije). Iz priložene tablice, vidljiv je prosječni maksimalni protok koji iznosi 47,00 m<sup>3</sup>/s, prosječni protok iznosi 8,77 m<sup>3</sup>/s, dok prosječni minimalni protok iznosi 0,011 m<sup>3</sup>/s. Na hidrološkoj postaji Krotuša je također vidljivo povećanje protoka u zimskim mjesecima, maksimalni protok zabilježen je siječnju, 1996.godine, a iznosio je 48,90 m<sup>3</sup>/s, dok su minimalni protoci od 0,00 m<sup>3</sup>/s zapaženi u svim mjesecima, iz navedenog možemo zaključiti kako korito često presušuje.

Tablica 7. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na mjernoj postaji Krotuša za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine: (izradio autor)

MJESEČNI I GODIŠNJI MAKSIMUMI PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	36,9	33,7	32,7	29,3	15,3	4,52	1,75	0,660	7,85	19,2	35,7	40,0	<b>47,0</b>
$st. dev.$	15,1	14,7	15,8	14,3	13,4	7,11	7,30	3,18	14,0	16,4	13,2	11,6	<b>1,43</b>
$C_v$	0,408	0,438	0,483	0,487	0,875	1,57	4,17	4,81	1,78	0,857	0,370	0,291	<b>0,030</b>
$Max$	48,9	48,4	48,0	47,1	46,3	23,3	46,2	20,0	47,0	47,5	48,1	48,7	<b>48,9</b>
$Min$	0,000	0,000	0,866	0,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,14	<b>42,1</b>
MJESEČNI I GODIŠNJI SREDNJACI PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	17,1	15,9	14,6	10,8	4,59	1,16	0,386	0,119	1,75	5,22	13,9	20,5	<b>8,77</b>
$st. dev.$	12,0	11,9	10,9	6,8	4,93	1,71	1,67	0,580	3,88	5,99	9,85	13,2	<b>3,20</b>
$C_v$	0,705	0,750	0,749	0,626	1,07	1,48	4,32	4,88	2,21	1,15	0,710	0,641	<b>0,364</b>
$Max$	47,1	44,0	37,6	23,8	20,2	6,16	10,6	3,63	15,5	21,0	33,8	45,4	<b>19,6</b>
$Min$	0,000	0,000	0,350	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,663	<b>3,17</b>
MJESEČNI I GODIŠNJI MINIMUMI PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	3,43	3,25	2,89	2,05	0,698	0,114	0,016	0,014	0,012	0,142	0,819	4,78	<b>0,011</b>
$st. dev.$	5,89	5,19	3,40	2,47	0,878	0,236	0,070	0,065	0,056	0,389	1,98	5,79	<b>0,055</b>
$C_v$	1,71	1,60	1,18	1,20	1,26	2,08	4,31	4,48	4,67	2,74	2,42	1,21	<b>4,90</b>
$Max$	32,9	22,8	13,8	10,8	3,08	0,922	0,356	0,316	0,316	1,73	10,0	20,6	<b>0,316</b>
$Min$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>

## MJERNA POSTAJA ŠIPAK

Na mjernoj postaji Šipak, koja mjeri hidrološke podatke vodotoka Baćinska jezera, za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine provedena je statistička analiza podataka mjesečnih te godišnjih protoka. U Tablici 8. prikazani su nakon statističke obrade, podaci o maksimalnim, srednjim i minimalnim protocima te su za promatrano razdoblje izračunate ekstremne godišnje vrijednosti protoka ( $X_{sr}$  – srednja vrijednost niza,  $St.dev$  – standardna devijacija,  $Cv$  – koeficijent varijacije). Iz priložene tablice vidljiv je prosječni maksimalni protok koji iznosi 55,00 m<sup>3</sup>/s, prosječni protok iznosi 10,50 m<sup>3</sup>/s, dok prosječni minimalni protok iznosi 0,135 m<sup>3</sup>/s. Na hidrološkoj postaji Šipak je također vidljivo povećanje protoka u zimskim mjesecima, maksimalni protok zabilježen je prosincu 1996.godine, iznosio je 67,10 m<sup>3</sup>/s dok su najmanji protoci od 0,003 m<sup>3</sup>/s zabilježeni u srpnju, kolovozu i rujnu.

Tablica 8. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. godine do 2020. godine (izradio autor)

MJESEČNI I GODIŠNJI <b>MAKSIMUMI</b> PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	40,4	37,1	35,8	30,6	17,7	5,50	2,16	1,38	8,30	22,9	38,6	45,9	<b>55,0</b>
$st. dev.$	19,1	18,1	16,8	15,8	15,3	7,59	7,12	3,47	13,8	18,9	16,9	13,7	<b>4,65</b>
$Cv$	0,474	0,487	0,468	0,515	0,866	1,38	3,30	2,52	1,66	0,828	0,438	0,299	<b>0,085</b>
$Max$	63,9	61,9	58,0	55,5	50,8	25,6	49,3	21,8	50,2	63,8	65,4	67,1	<b>67,1</b>
$Min$	0,345	0,319	2,12	1,82	0,482	0,109	0,016	0,003	0,053	0,088	1,04	5,53	<b>40,3</b>
MJESEČNI I GODIŠNJI <b>SREDNJACI</b> PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	19,7	19,0	16,9	12,5	6,59	2,02	0,736	0,540	2,34	7,65	15,8	24,4	<b>10,5</b>
$st. dev.$	13,6	13,9	11,9	6,99	6,77	2,43	1,75	0,978	4,20	8,40	11,6	14,5	<b>3,71</b>
$Cv$	0,690	0,734	0,703	0,558	1,03	1,20	2,38	1,81	1,80	1,10	0,732	0,595	<b>0,353</b>
$Max$	52,2	56,6	43,4	26,2	26,9	8,72	12,1	4,97	16,6	37,8	48,3	52,2	<b>21,9</b>
$Min$	0,224	0,221	1,09	0,681	0,221	0,095	0,007	0,003	0,044	0,044	0,263	1,61	<b>4,56</b>
MJESEČNI I GODIŠNJI <b>MINIMUMI</b> PROTOKA (m <sup>3</sup> /s) ZA PERIOD 1979-2020.													
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	God.
$X_{sr}$	4,90	5,39	4,44	2,80	1,97	0,619	0,260	0,220	0,283	0,729	2,08	7,25	<b>0,135</b>
$st. dev.$	6,95	7,56	4,44	2,13	2,96	0,716	0,268	0,263	0,356	1,01	4,37	8,09	<b>0,165</b>
$Cv$	1,42	1,40	1,00	0,761	1,50	1,16	1,03	1,20	1,26	1,38	2,09	1,12	<b>1,23</b>
$Max$	40,9	38,3	19,1	9,03	15,6	3,33	1,17	1,00	1,56	5,09	25,1	32,1	<b>0,85</b>
$Min$	0,045	0,155	0,155	0,302	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,045	0,249	<b>0,003</b>

U Tablici 9., 10., i 11., prikazane su srednje vrijednosti godišnjih nizova za razdoblje promatranja od 1979. do 2020. godine na postajama Bačina, Krotuša i Šipak za minimalne, srednje i maksimalne protoke.

*Tablica 9. Prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Bačina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za minimalne protoke: (izradio autor)*

<i>Xsr</i>	<i>I.</i>	<i>II.</i>	<i>III</i>	<i>IV.</i>	<i>V.</i>	<i>VI.</i>	<i>VII.</i>	<i>VIII.</i>	<i>IX.</i>	<i>X.</i>	<i>XI.</i>	<i>XII.</i>
<b>STANICA BAČINA</b>	1,16	1,02	0,992	1,03	0,773	0,281	0,118	0,100	0,087	0,249	0,549	1,38
<b>STANICA KROTUŠA</b>	3,43	3,25	2,89	2,05	0,698	0,114	0,014	0,014	0,012	0,142	0,819	4,78
<b>STANICA ŠIPAK</b>	4,90	5,39	4,44	2,80	1,97	0,619	0,260	0,220	0,283	0,729	2,08	7,25

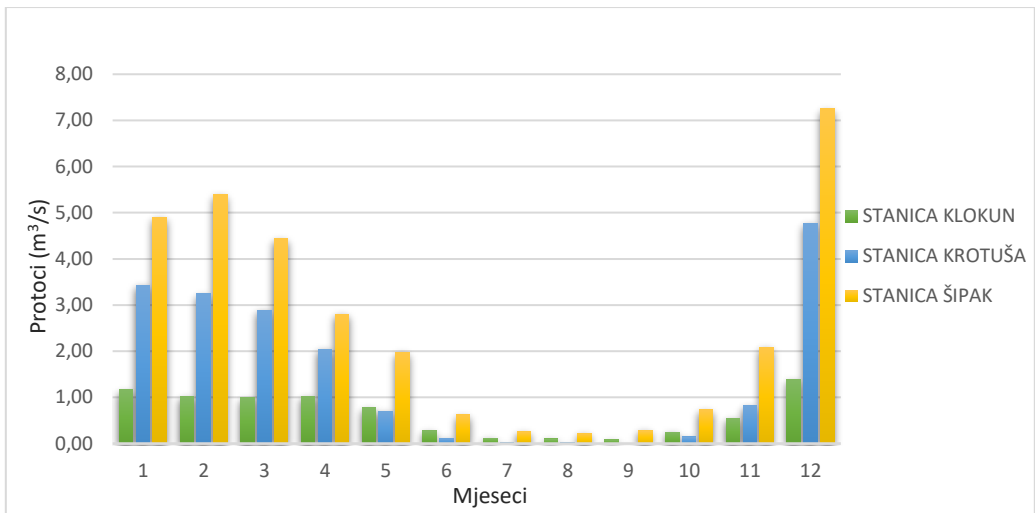
*Tablica 10. Prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Bačina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za srednje protoke: (izradio autor)*

<i>Xsr</i>	<i>I.</i>	<i>II.</i>	<i>III</i>	<i>IV.</i>	<i>V.</i>	<i>VI.</i>	<i>VII.</i>	<i>VIII.</i>	<i>IX.</i>	<i>X.</i>	<i>XI.</i>	<i>XII.</i>
<b>STANICA BAČINA</b>	2,16	2,02	1,94	1,87	1,39	0,715	0,293	0,170	0,376	1,00	1,93	2,50
<b>STANICA KROTUŠA</b>	17,1	15,9	14,6	10,8	4,59	1,16	0,386	0,119	1,75	5,22	13,9	20,5
<b>STANICA ŠIPAK</b>	19,7	19,0	16,9	12,5	6,59	2,02	0,736	0,540	2,34	7,65	15,8	24,4

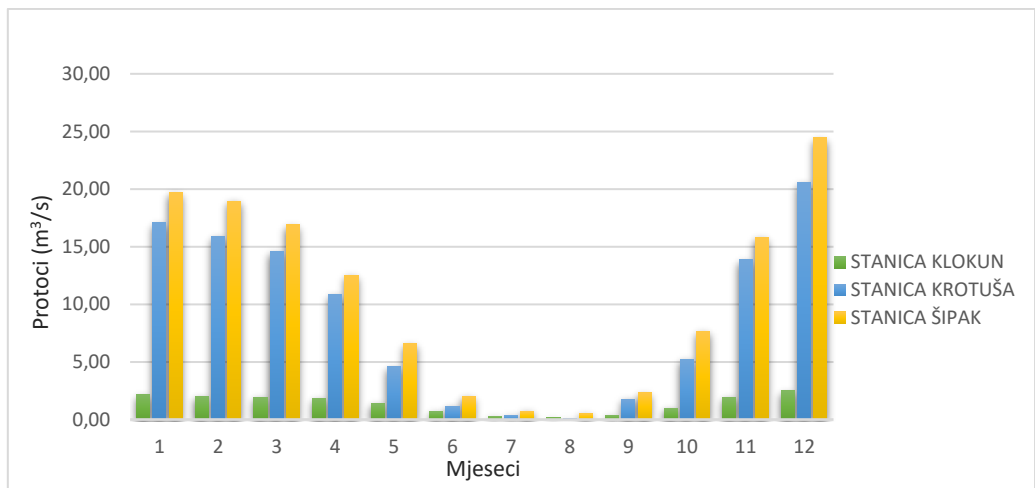
*Tablica 11. Prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Bačina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za maksimalne protoke: (izradio autor)*

<i>Xsr</i>	<i>I.</i>	<i>II.</i>	<i>III</i>	<i>IV.</i>	<i>V.</i>	<i>VI.</i>	<i>VII.</i>	<i>VIII.</i>	<i>IX.</i>	<i>X.</i>	<i>XI.</i>	<i>XII.</i>
<b>STANICA BAČINA</b>	3,22	2,99	2,97	2,89	2,32	1,23	0,705	0,360	0,898	2,18	3,50	3,74
<b>STANICA KROTUŠA</b>	36,9	33,7	32,72	29,3	15,3	4,52	1,75	0,660	7,85	19,2	35,7	40,0
<b>STANICA ŠIPAK</b>	40,4	37,1	35,8	30,6	17,7	5,50	2,16	1,38	8,30	22,9	38,6	45,9

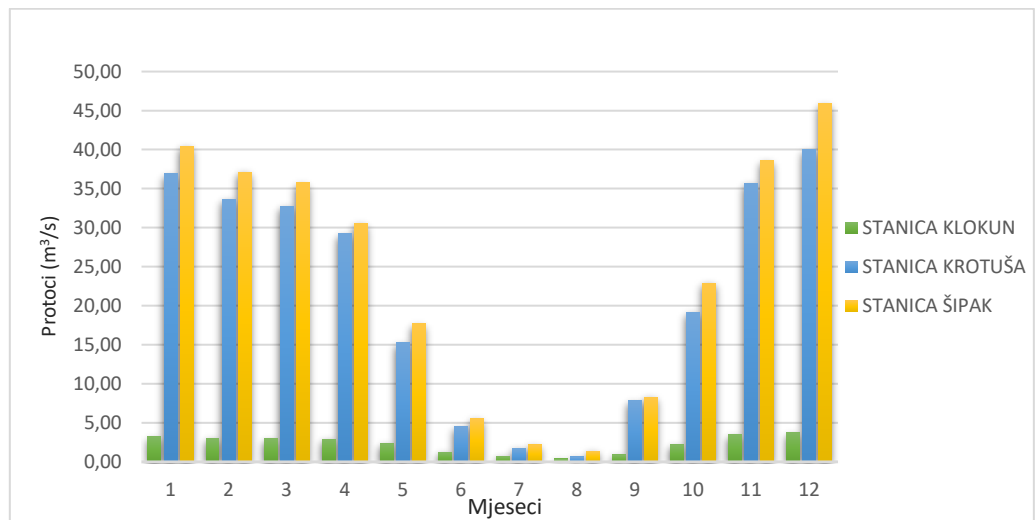
Na Slici 32., 33., i 34., grafički su prikazane vrijednosti količina protoka u ovisnosti o mjesecima za razdoblje promatranja od 1979. do 2020. godine na postajama Bačina, Krotuša i Šipak za minimalne, srednje i maksimalne protoke. Kod minimalnih protoka (na slici 32.) može se uočiti da su se protoci preko 5,00 (m<sup>3</sup>/s) pojavljivali na postaji Šipak u hladnijim mjesecima: veljača i prosinac. Kod srednjih protoka (na slici 33.) tijekom cijele godine na postaji Bačina (Klokun) protok ne prelazi preko 2,00 (m<sup>3</sup>/s), u hladnijim mjesecima protok vode na postajama Šipak i Krotuša kreće se između 15,00 (m<sup>3</sup>/s), i 20,00 (m<sup>3</sup>/s), osim u prosincu kada je protok oko 25,00 (m<sup>3</sup>/s). Maksimalni protoci (na slici 34.) također pokazuju da tijekom cijele godine na postaji Bačina protok ne prelazi preko 2,00 (m<sup>3</sup>/s), dok se na hidrološkim postajama Krotuša i Šipak u hladnijim mjesecima: siječanj, veljača, ožujak, travanj, studeni i prosinac protoci kreću između 25,00 (m<sup>3</sup>/s), i 45,00 (m<sup>3</sup>/s).



Slika 32. Grafički prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za minimalne protoke: (izradio autor)



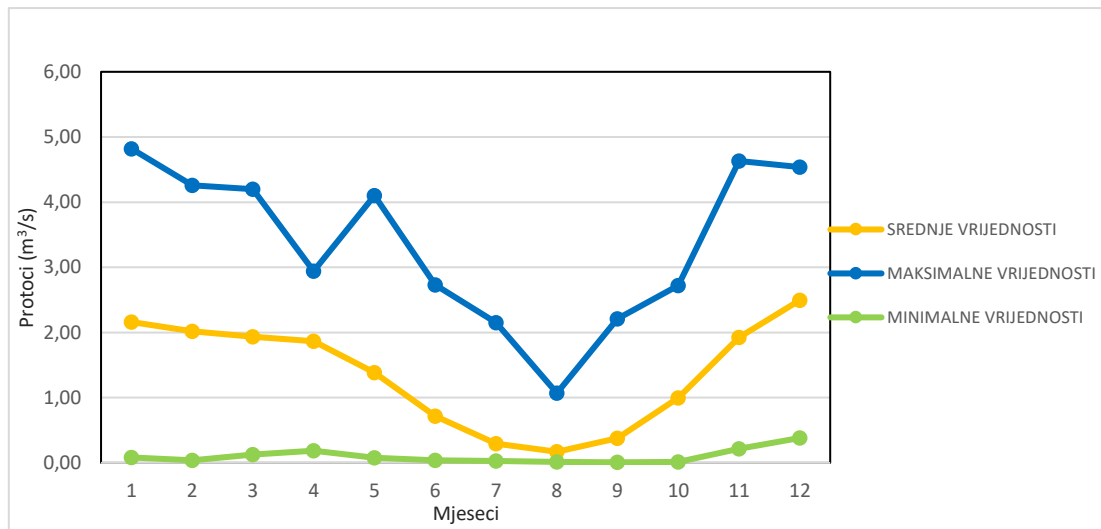
Slika 33. Grafički prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za srednje protoke: (izradio autor)



Slika 34. Grafički prikaz srednjih vrijednosti godišnjih nizova na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak (razdoblje 1979-2020.) za maksimalne protoke: (izradio autor)

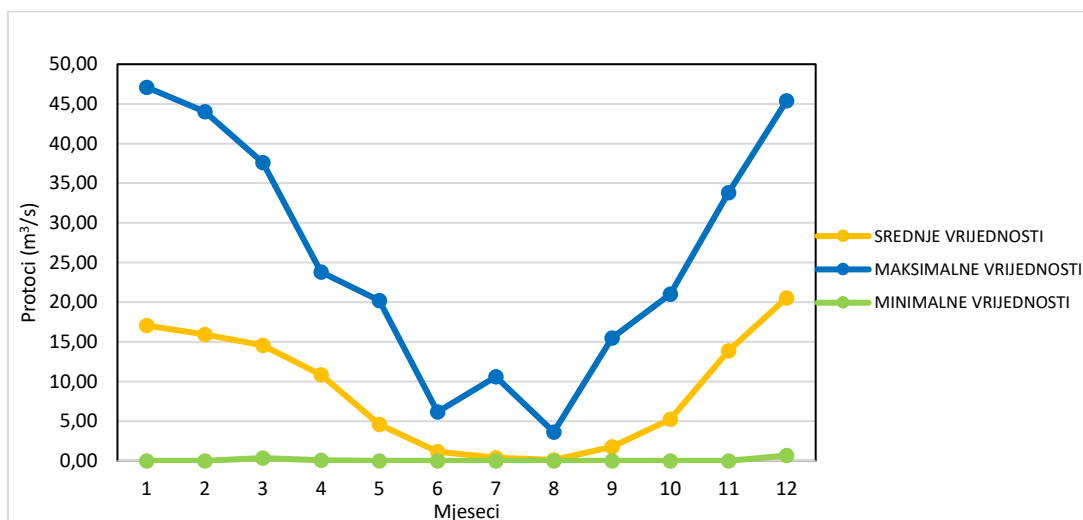
Na Slici 35., 36., i 37., grafički je prikazana unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak.

Slika 35. prikazuje izrazito smanjenje količina protoka na mjernoj postaji Baćina tijekom ljetnih mjeseci, posebno u mjesecu kolovozu. Osmatrajući minimalne vrijednosti na postaji vidljivo je da u pojedinim mjesecima nema protoka.



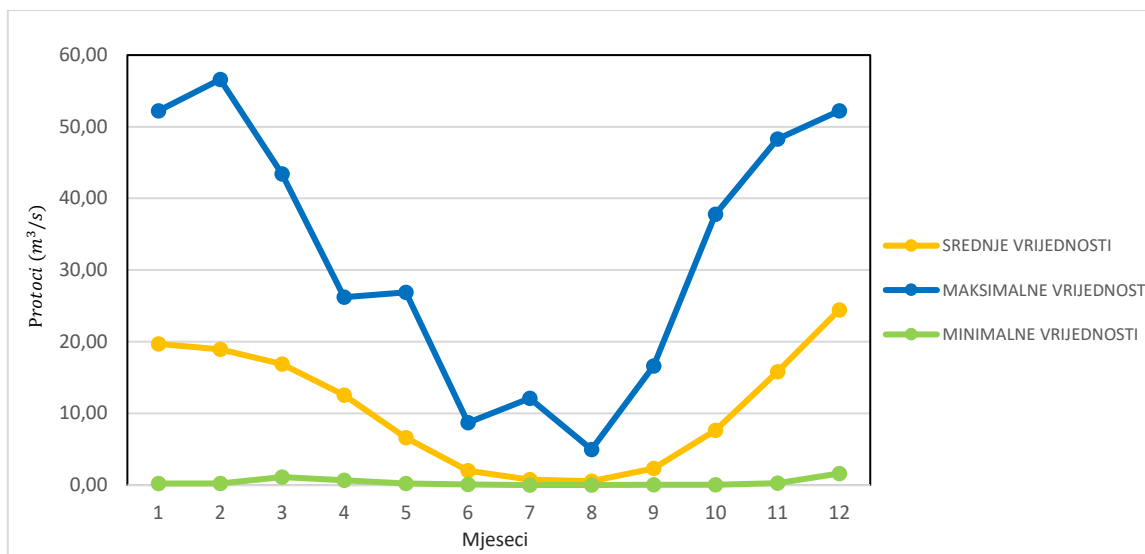
Slika 35. Unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka mjerne postaje Baćina u razdoblju 1979.-2020. godine: (izradio autor)

Slika 36. prikazuje izrazito smanjenje količina protoka na mjernoj postaji Krotuša tijekom ljetnih mjeseci, posebno u lipnju, srpnju i kolovozu. Osmatrajući minimalne vrijednosti na postaji vidljivo je da većina mjeseci nema zabilježene protoke.



Slika 36. Unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka mjerne postaje Krotuša u razdoblju 1979.-2020. godine: (izradio autor)

Na mjernoj postaji Šipak (slika 37.) prikazuje se isti trend smanjenja protoka u ljetnim mjesecima kao i na mjernoj postaji Krotuša. Osmatrajući maksimalne i srednje vrijednosti vidljivo je smanjenje protoka u ljetnim mjesecima, posebno u lipnju, srpnju i kolovozu.

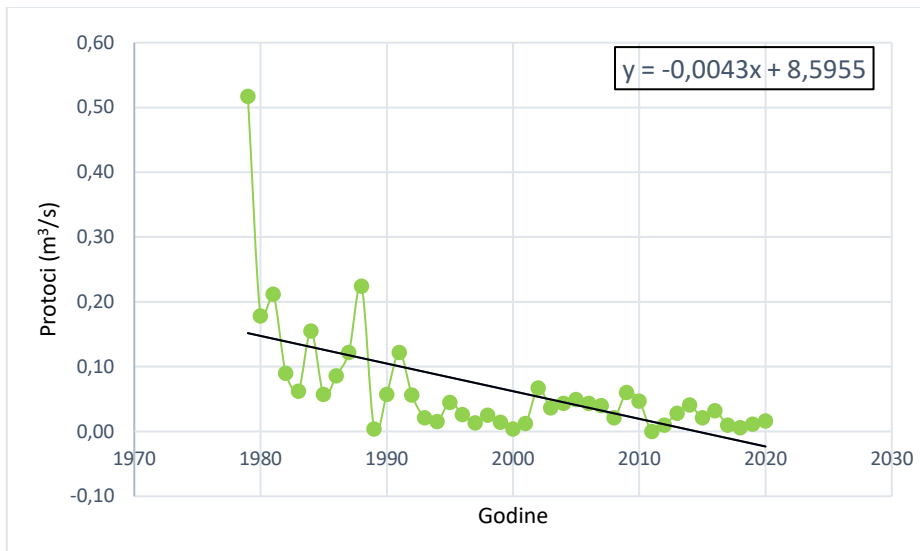


Slika 37. Unutargodišnja raspodjela minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti protoka za mjesečne i godišnje srednjake protoka mjerne postaje Šipak u razdoblju 1979.-2020. godine: (izradio autor)

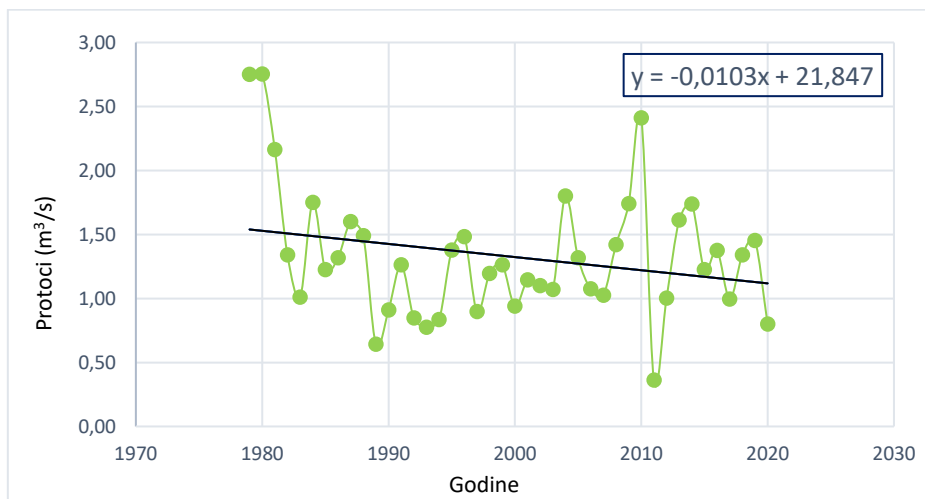
## 6.2. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti i njihov trend

### MJERNA POSTAJA BAĆINA/KLOKUN

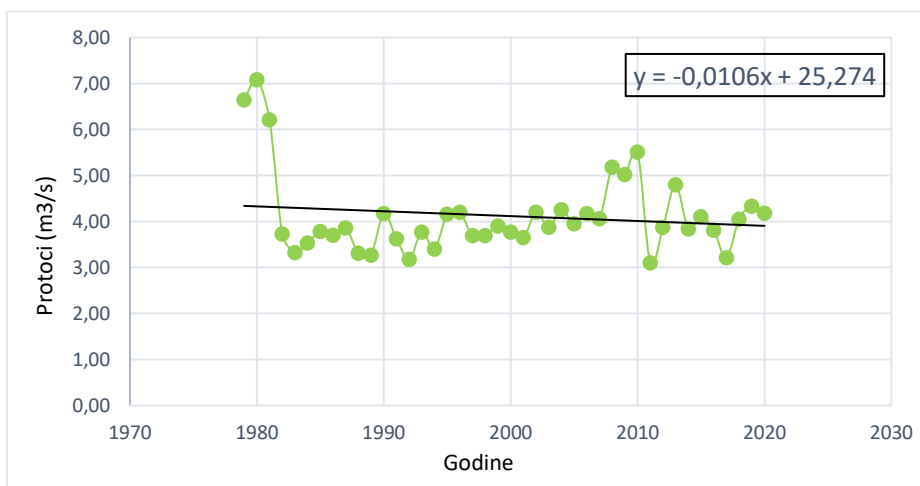
Na Slici 38. prikazan je hod i trend za minimalne, srednje i maksimalne protoke za razdoblje mjerenja na hidrološkoj postaji Baćina. U promatranom razdoblju od 1979. do 2020. godine možemo vidjeti kako je linija trenda za minimalne protoke (a) u najizraženijem padu, dok je za srednje (b) i maksimalne protoke (c) linija trenda u blagom padu. Godišnja količina kod minimalnih protoka kreće se od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 0,52 m<sup>3</sup>/s, kod srednjih protoka kreće se od 0,40 m<sup>3</sup>/s do 2,70 m<sup>3</sup>/s, a kod maksimalnih protoka od 3,00 m<sup>3</sup>/s do 7,10 m<sup>3</sup>/s.



a)



b)



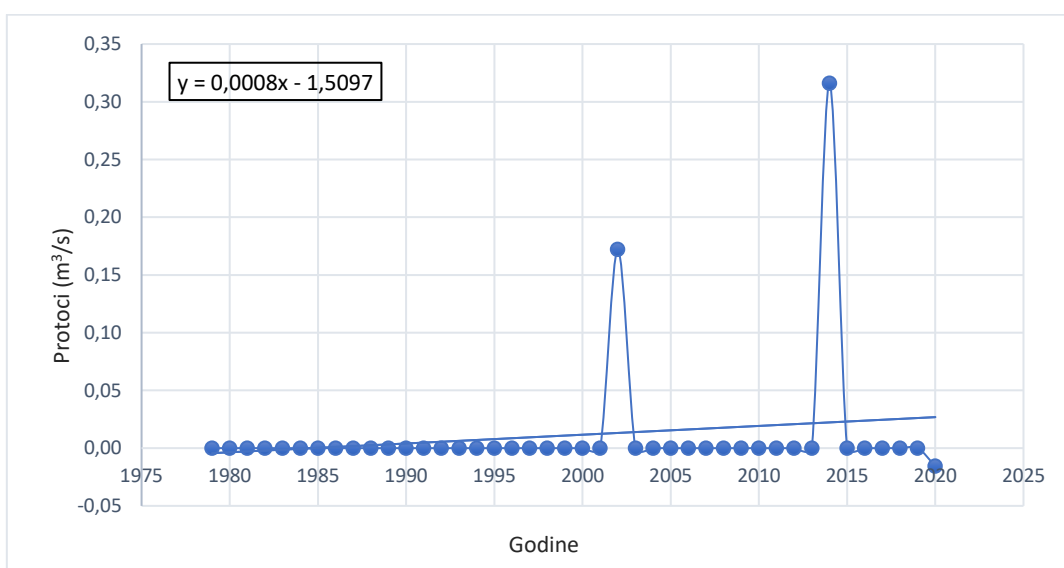
c)

Slika 38. Mjerna postaja Bačina - hodovi minimalnih (a), srednjih (b) i maksimalnih protoka (c) u razdoblju od 1979. do 2020 god.: (izradio autor)

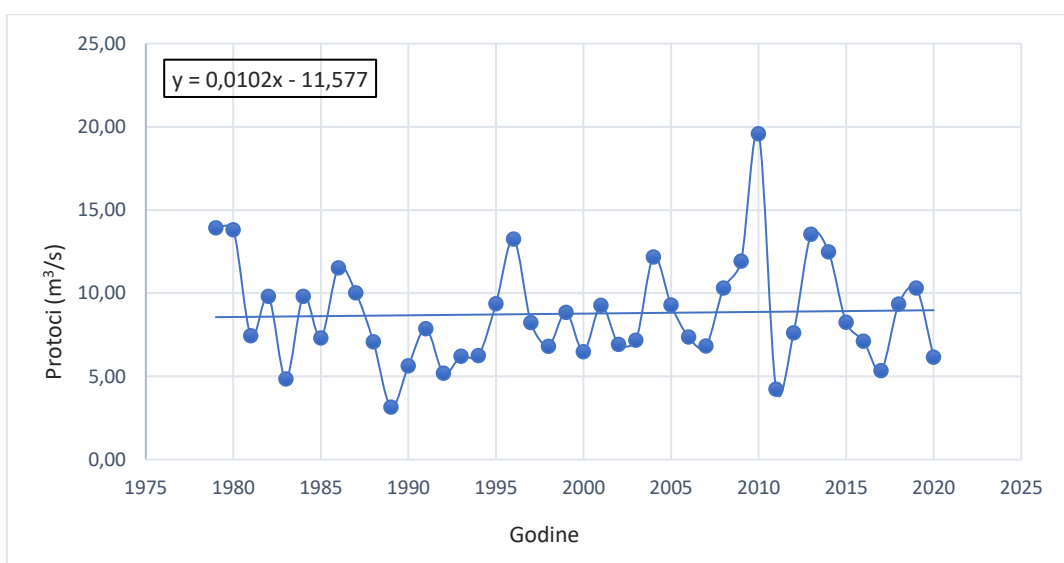


## MJERNA POSTAJA KROTUŠA

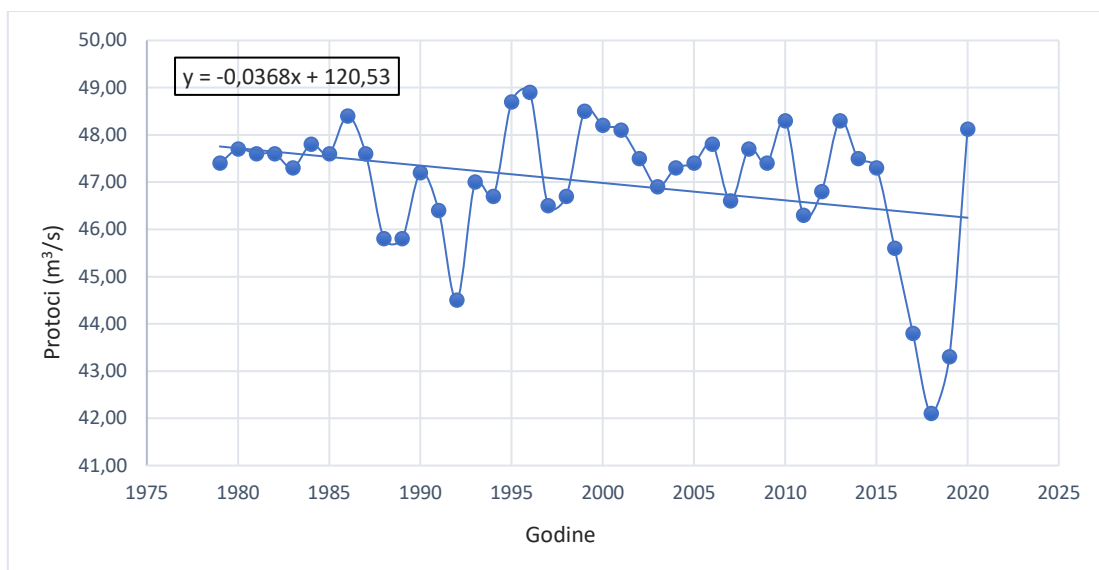
Na Slici 39. prikazan je hod i trend za minimalne, srednje i maksimalne protoke za promatrano razdoblje mjerenja na hidrološkoj postaji Krotuša. U promatranom razdoblju od 1979. do 2020. godine možemo vidjeti kako je na liniji trenda za minimalne (a) i srednje (b) protoke uočen blagi trend porasta, dok je za maksimalne protoke (c) linija trenda u padu. Godišnja količina kod minimalnih protoka kreće se od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 0,32 m<sup>3</sup>/s, čime zaključujemo da veći dio godine na mjernoj postaji Krotuša dolazi do presušivanja. Kod srednjih protoka godišnja količina kreće se od 3,50 m<sup>3</sup>/s do 19,50 m<sup>3</sup>/s, a kod maksimalnih protoka od 42,00 m<sup>3</sup>/s do 49,00 m<sup>3</sup>/s.



a)



b)

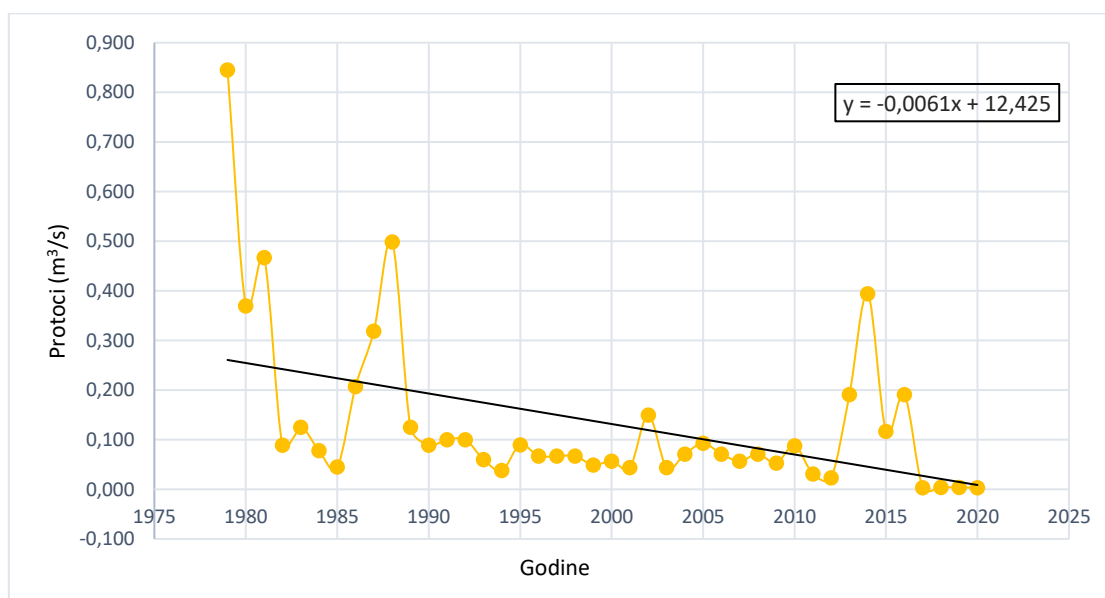


c)

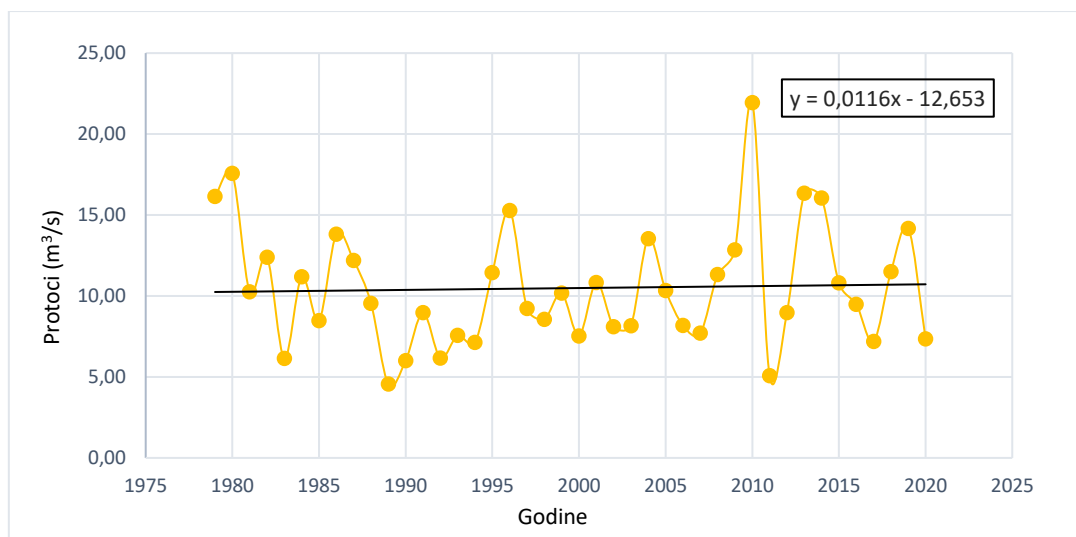
Slika 39. Mjerna postaja Krotuša - hodovi minimalnih (a), srednjih (b) i maksimalnih protoka (c) u razdoblju od 1979. do 2020 god.: (izradio autor)

### MJERNA POSTAJA ŠIPAK

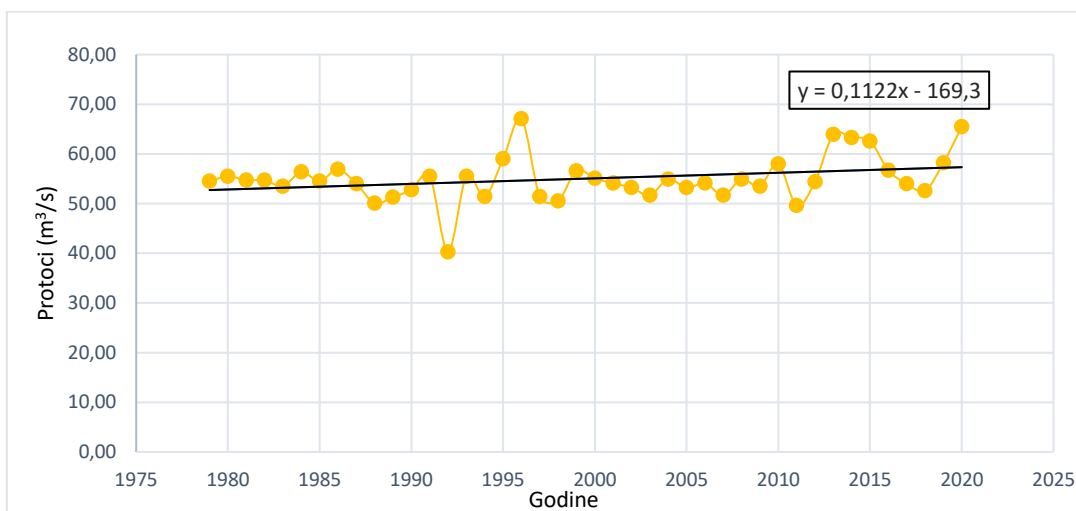
Na Slici 40. prikazan je hod i trend za minimalne, srednje i maksimalne protoke za promatrano razdoblje mjerenja na hidrološkoj postaji Šipak. U promatranom razdoblju od 1979. do 2020. godine možemo vidjeti kako je linija trenda za minimalne protoke (a) u padu dok je za srednje (b) i maksimalne protoke (c) uočen blagi trend porasta. Godišnja količina kod minimalnih protoka kreće se od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 0,28 m<sup>3</sup>/s, kod srednjih protoka godišnja količina kreće se od 4,90 m<sup>3</sup>/s do 22,50 m<sup>3</sup>/s, a kod maksimalnih protoka od 40,00 m<sup>3</sup>/s do 68,00 m<sup>3</sup>/s.



a)



b)



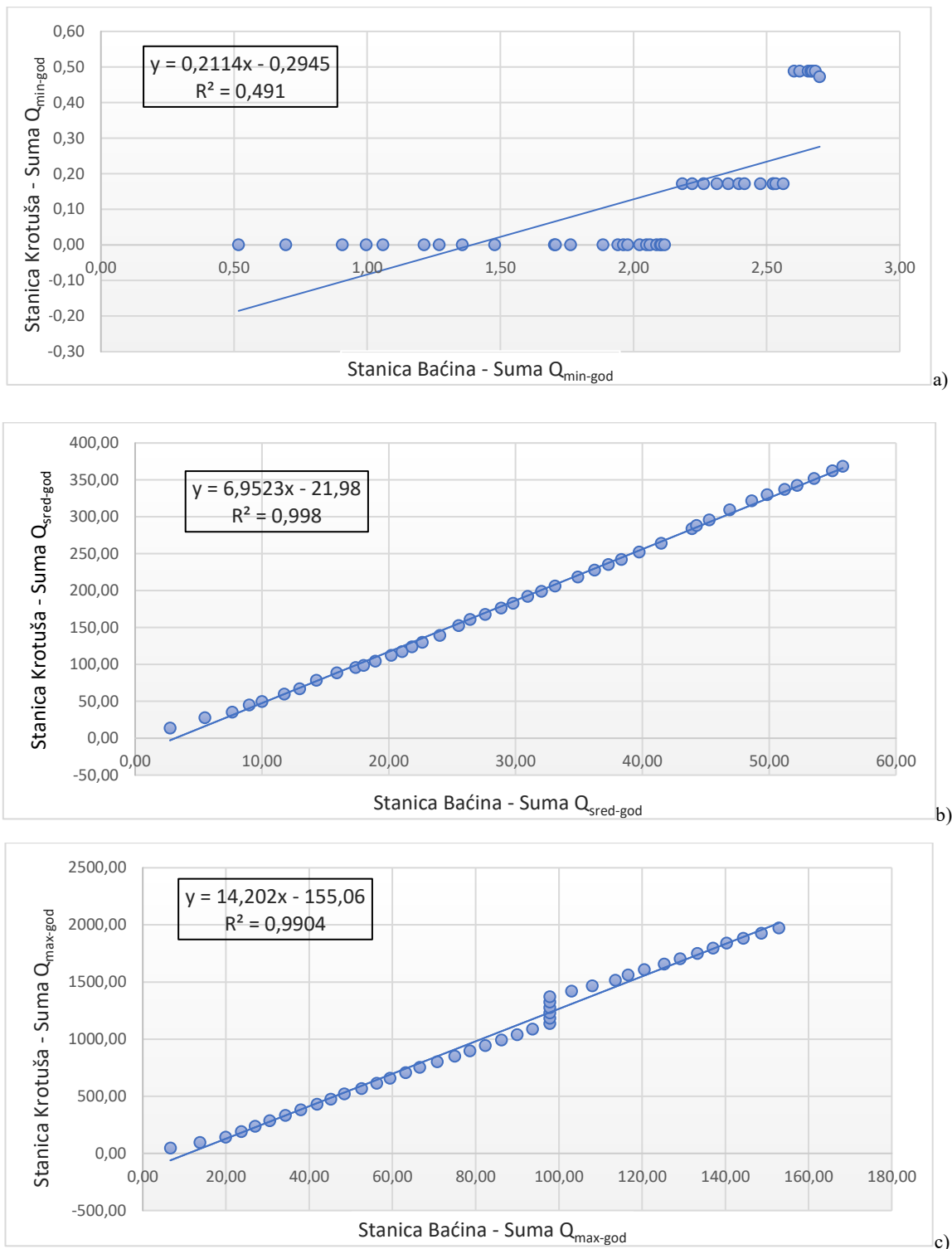
c)

Slika 40. Mjerna postaja Šipak - hodovi minimalnih (a), srednjih (b) i maksimalnih protoka (c) u razdoblju od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

### 6.3. Analiza homogenosti

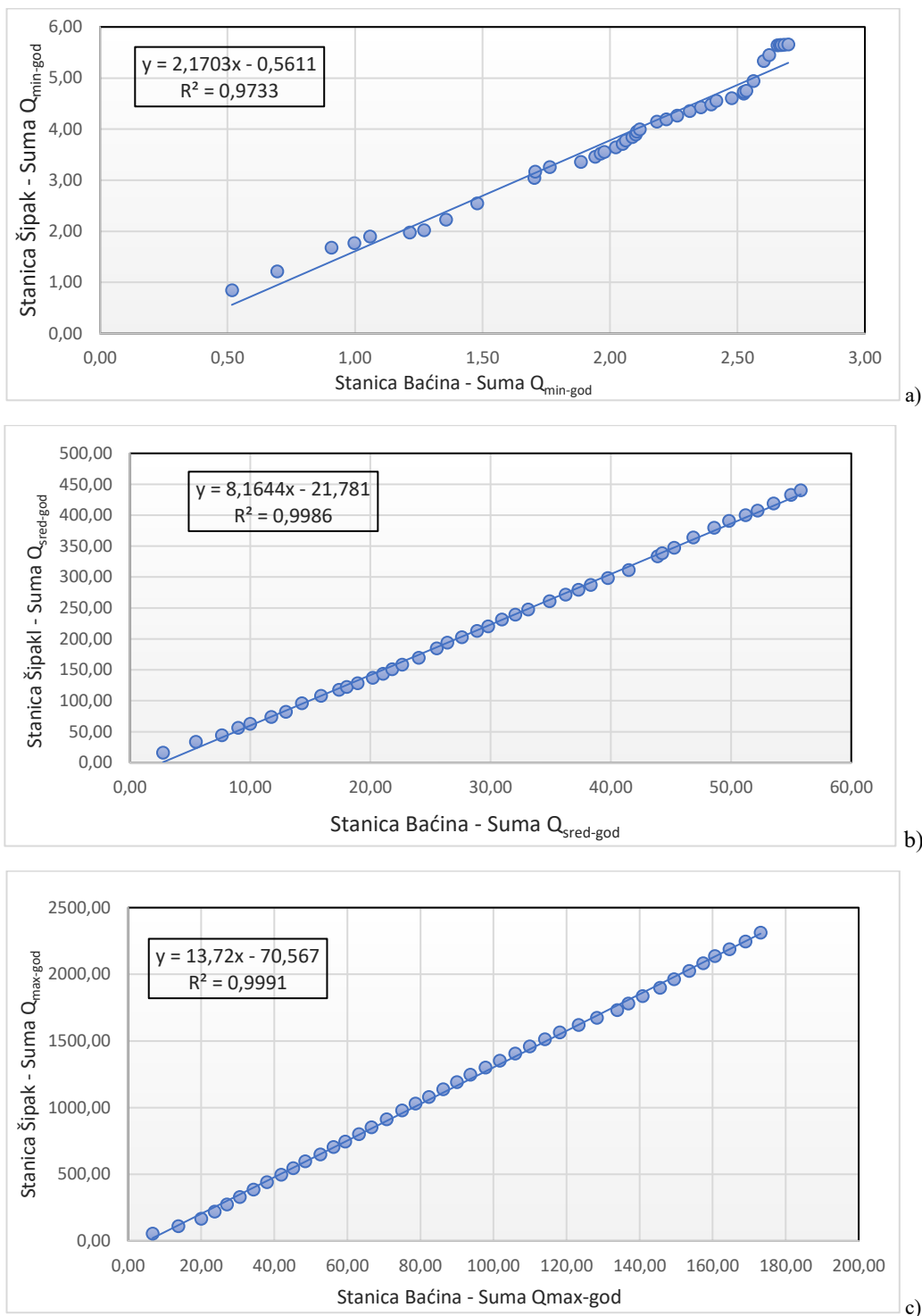
Analiza homogenosti predstavlja kvalitetan kriterij za analizu promatrane pojave na osnovu koje se mogu donositi zaključci. Na Slici 41., 42., i 43., grafički su prikazane analize homogenosti na promatranim hidrološkim postajama Baćina, Krotuša i Šipak. Nizovi su raspoređeni prema protocima iz promatranog perioda od 1979. do 2020. godine. Na temelju podataka su se formirali grafikoni za minimalne, srednje i maksimalne protoke.

Na slici 41. vidljiv je niz minimalnih godišnjih protoka (a) sa mjernih postaja Baćina i Krotuša koji je nehomogen jer su parovi nelinearno raspoređeni, homogenost je dobro izražena kod za srednjih protoka gdje je utvrđeno najmanje odstupanje od linearne linije, nehomogenost je također uočena kod maksimalnih protoka.



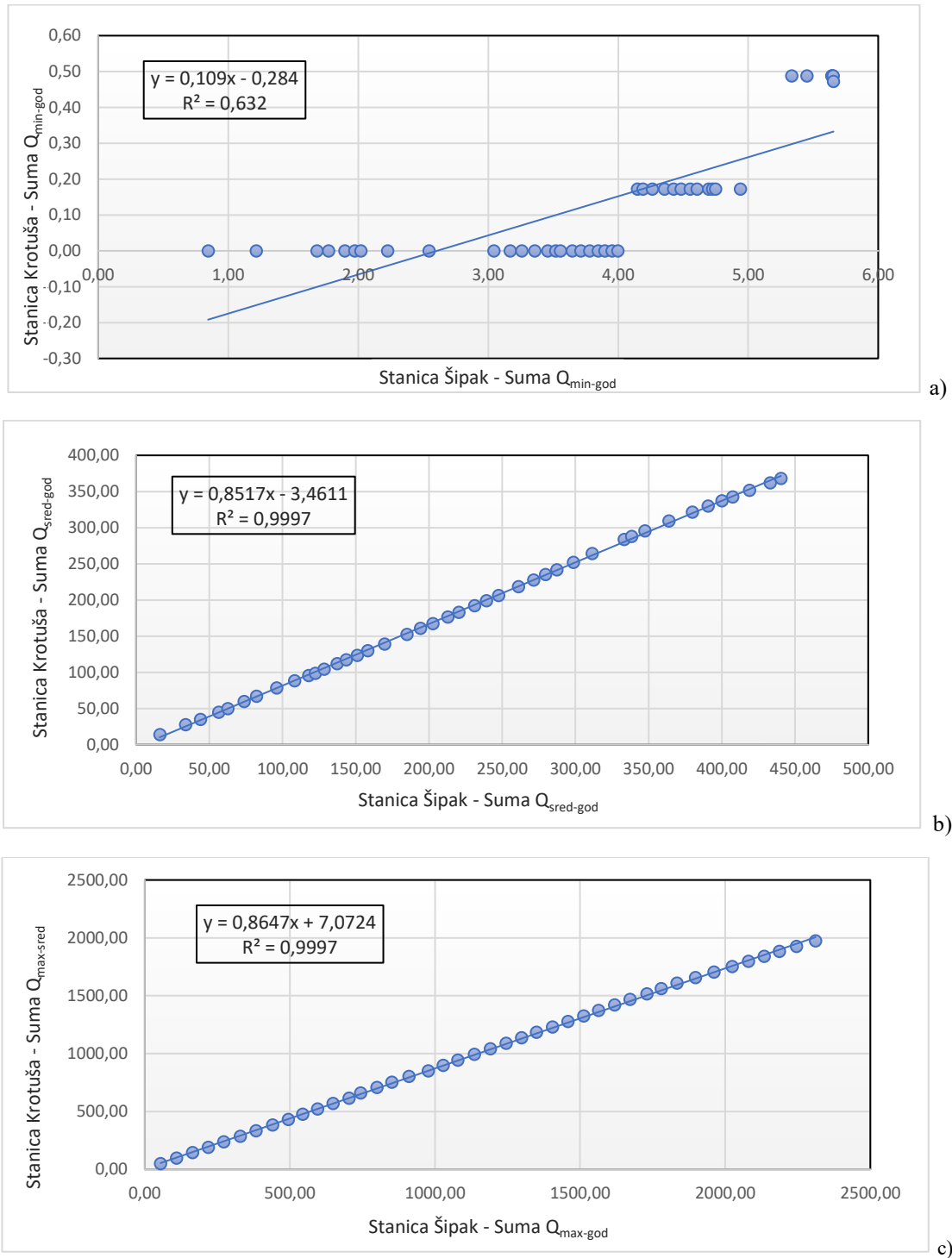
Slika 41. Mjerne postaje Baćina i Krotuša - analiza homogenosti za minimalne (a) , srednje (b) i maksimalne (c) protoke za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Na mjernim postajama Baćina i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. godine vršila se analiza homogenosti protoka. Na Slici 42. iskazani su podaci za minimalne (a), srednje (b) i maksimalne (c) protoke. Najveća odstupanja od linearne linije zabilježena su kod minimalnih protoka, kod srednjih i maksimalnih protoka možemo zaključiti kako su nizovi godišnjih količina protoka homogeni jer su parovi linearno raspoređeni.



Slika 42. Mjerne postaje Baćina i Šipak - analiza homogenosti za minimalne (a) , srednje (b) i maksimalne (c) protoke za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Na mjernim postajama Šipak i Krotuša za razdoblje od 1979. do 2020. godine vršila se analiza homogenosti protoka. Na Slici 43. iskazani su podaci za minimalne (a), srednje (b) i maksimalne (c) protoke. Najveća odstupanja od linearne linije zabilježena su kod minimalnih protoka, dok se kod srednjih i maksimalnih protoka može zaključiti kako su nizovi godišnjih količina protoka homogeni jer su parovi linearno raspoređeni.



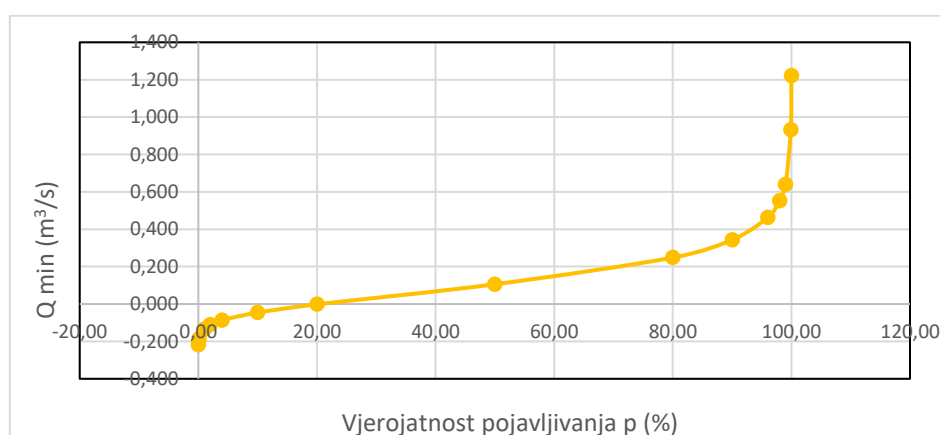
Slika 43. Mjerne postaje Šipak i Krotuša - analiza homogenosti za minimalne (a) , srednje (b) i maksimalne (c) protoke za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

#### 6.4. Vjerojatnost pojave maksimalnih i minimalnih vrijednosti godišnjih količina protoka na mjernoj postaji Šipak

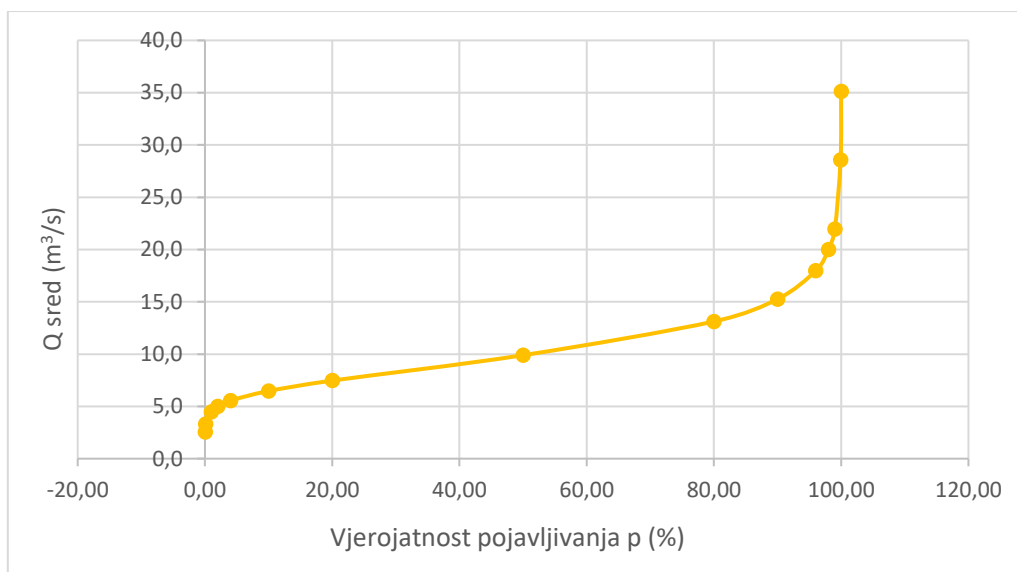
Za analizu vjerojatnosti pojavljivanja karakterističnih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Šipak korištena je Gumbelova raspodjela. Proračunate su vjerojatnosti pojave godišnjih protoka na način da su minimalni protoci proračunati u smjeru pojave najmanjih vrijednosti, maksimalni protoci u smjeru najvećih vrijednosti, te srednji protoci u smjeru najmanjih i najvećih vrijednosti. Za povratni period od dvije godine i vjerojatnost pojavljivanja od 50 % minimalne protoke iznosile bi 0,106 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period srednji protok iznosio 9,89 m<sup>3</sup>/s. Kod minimalnih protoka za vjerojatnost pojavljivanja od 1% i povratni period od 100 godina, vrijednost podataka ne postoji (negativan trend), dok bi za srednje protoke iznosio 4,47 m<sup>3</sup>/s. Na Slici 44., i 45. grafički je prikazana vjerojatnost pojavljivanja minimalnih i srednjih protoka u smjeru minimuma.

Tablica 12. Gumbelova raspodjela minimalnih i srednjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Gumbelova raspodjela – mjerna postaja Šipak			
Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	Minimalni protoci Q (m <sup>3</sup> /s)	Srednji protoci Q (m <sup>3</sup> /s)
(god.)	(%)		
2	50	0,106	9,89
5	20	-0,002	7,47
10	10	-0,046	6,47
25	4	-0,086	5,55
50	2	-0,112	4,98
100	1	-0,134	4,47



Slika 44. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave minimalnih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)



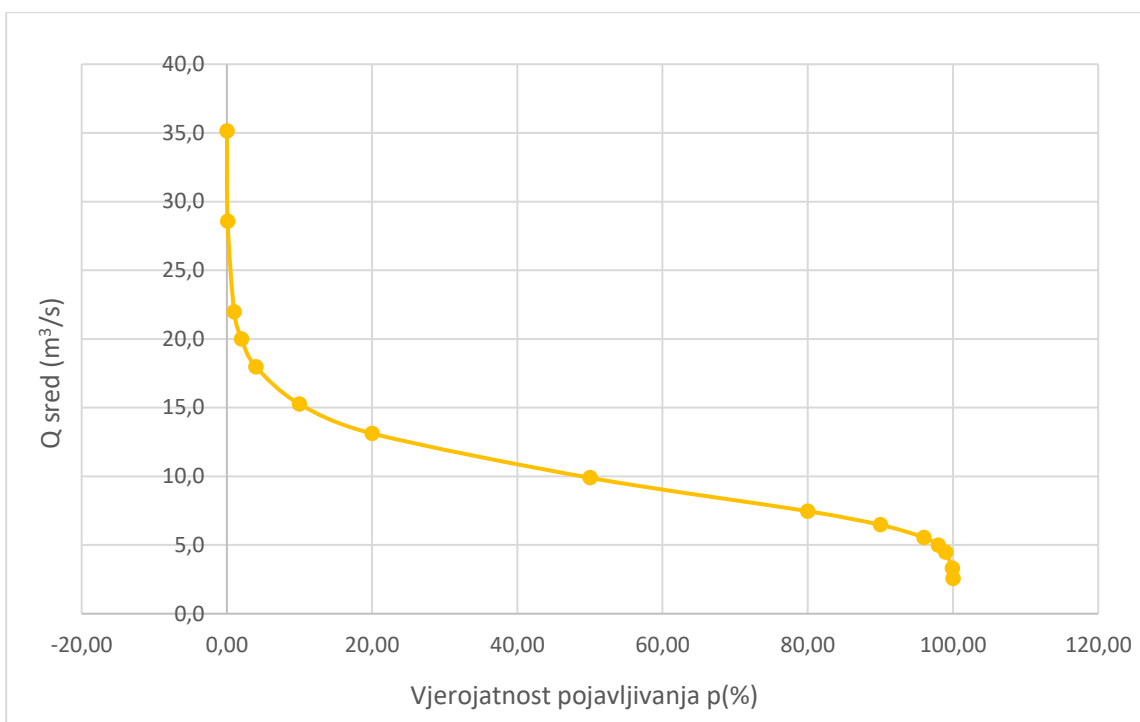
Slika 45. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave srednjih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Prema Gumbelovoj raspodjeli, proračunate su vjerojatnosti pojave godišnjih protoka na način da su maksimalni i srednji protoci proračunati u smjeru pojave najvećih vrijednosti. U Tablici 13. vidljivo je da bi za povratni period od dvije godine i vjerojatnost pojavljivanja od 50 % maksimalne protoke iznosile bi 54,3 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period srednji protok iznosio 9,9 m<sup>3</sup>/s. Za povratni period od 100 godina i vjerojatnost pojavljivanja od 1 % maksimalne protoke iznosile bi 69,5 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period srednji protok iznosio 22,0 m<sup>3</sup>/s. Na Slici 46., i 47. grafički je prikazana vjerojatnost pojavljivanja maksimalnih i srednjih protoka u smjeru maksimuma.

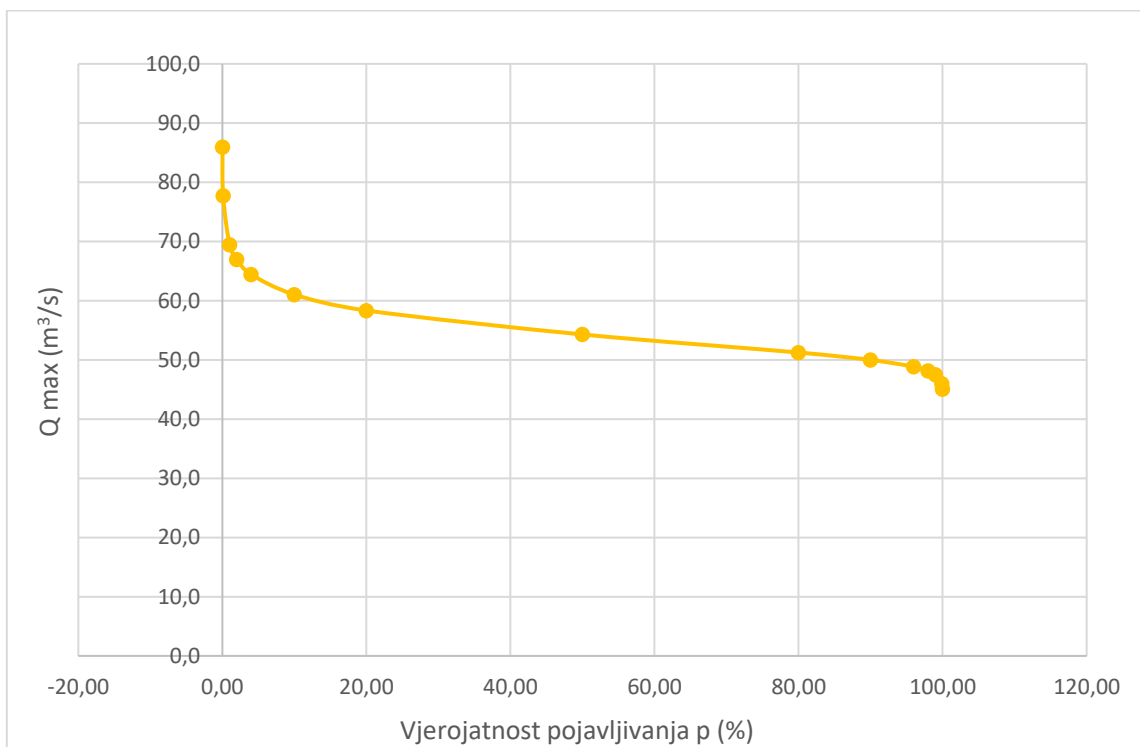
Tablica 13. Gumbelova raspodjela maksimalnih i srednjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Gumbelova raspodjela – mjerna postaja Šipak			
Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	Maksimalni protoci Q (m <sup>3</sup> /s)	Srednji protoci Q (m <sup>3</sup> /s)
(god.)	(%)		
100	1	69,5	22,0
50	2	67,0	20,0
25	4	64,4	18,0
10	10	61,0	15,3
5	20	58,3	13,1
2	50	54,3	9,9





Slika 46. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave srednjih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)



Slika 47. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave maksimalnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

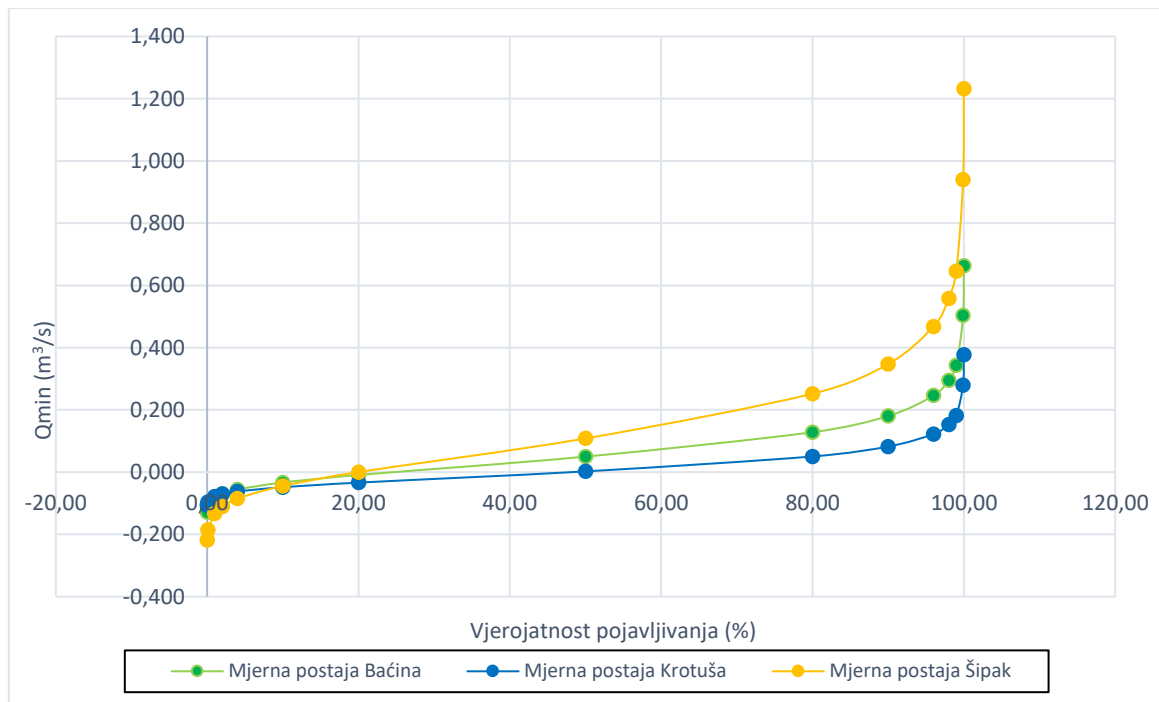
## 6.5. Vjerojatnost pojave maksimalnih i minimalnih vrijednosti godišnjih količina protoka na promatranim postajama

Za analizu vjerojatnosti pojavljivanja karakterističnih godišnjih protoka na hidrološkim postajama Baćina (Klokun), Krotuša i Šipak korištena je Gumbelova raspodjela. U Tablici 14. proračunate su vjerojatnosti pojave minimalnih i srednjih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti za promatrano razdoblje. Na mjernoj postaji Baćina u razdoblju povratnog perioda od dvije godine i vjerojatnost pojavljivanja od 50 % minimalni protok iznosio bi 0,050 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period srednji protok iznosio 1,25 m<sup>3</sup>/s. Na mjernoj postaji Krotuša u razdoblju povratnog perioda od dvije godine i vjerojatnost pojavljivanja od 50 % minimalni protok iznosio bi 0,002 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period srednji protok iznosio 8,26 m<sup>3</sup>/s. Na mjernoj postaji Šipak u istom razdoblju minimalni protok iznosio bi 0,108 m<sup>3</sup>/s, dok bi srednji protok iznosio 9,89 m<sup>3</sup>/s.

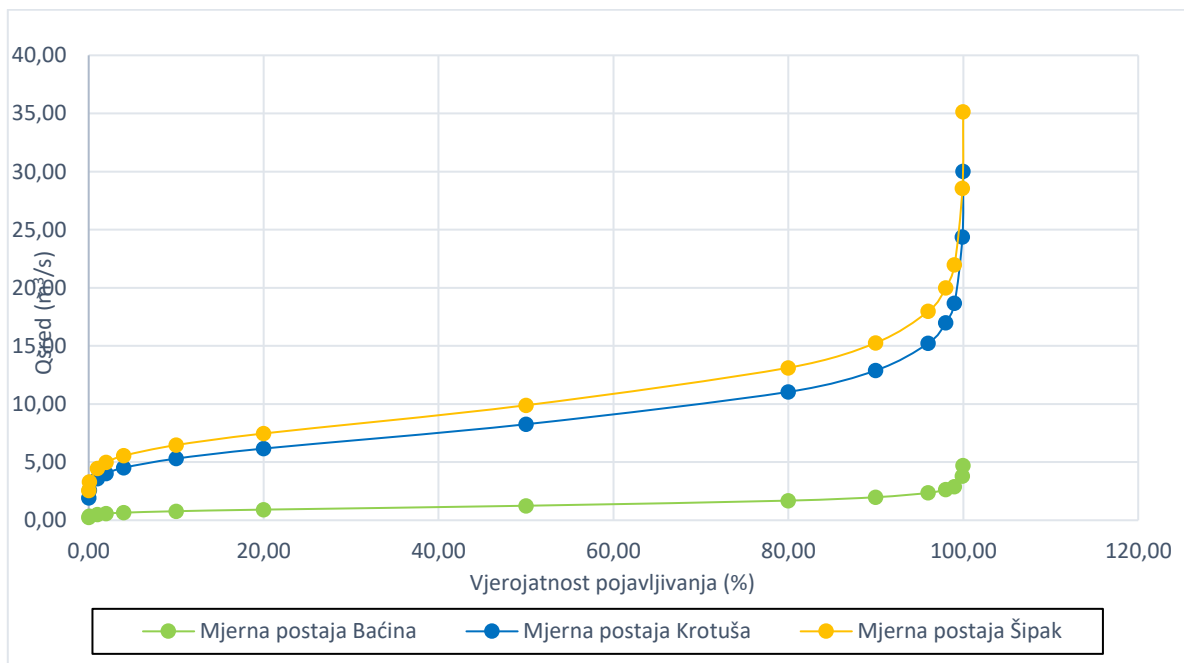
Tablica 14. Usporedni prikaz vjerojatnosti pojave minimalnih i srednjih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Gumbelova raspodjela									
Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	p1	z	Qmin	Qmin	Qmin	Qsred	Qsred	Qsred
(god.)	(%)			Baćina (minimalni protoci)	Krotuša (minimalni protoci)	Šipak (minimalni protoci)	Baćina (srednji protoci)	Krotuša (srednji protoci)	Šipak (srednji protoci)
1,0001	99,99	0,0001	9,21	0,663	0,378	1,23	4,70	30,0	35,1
1,0010	99,9	0,0010	6,91	0,504	0,280	0,940	3,80	24,4	28,6
1,0101	99	0,0100	4,60	0,343	0,182	0,646	2,90	18,7	22,0
1,0204	98	0,0200	3,91	0,296	0,153	0,558	2,63	17,0	20,0
1,0417	96	0,0400	3,20	0,246	0,123	0,468	2,35	15,2	18,0
1,1111	90	0,1000	2,25	0,180	0,082	0,347	1,98	12,9	15,3
1,25	80	0,2000	1,50	0,128	0,050	0,252	1,69	11,0	13,1
<b>2</b>	<b>50</b>	<b>0,5000</b>	<b>0,37</b>	<b>0,050</b>	<b>0,002</b>	<b>0,108</b>	<b>1,25</b>	<b>8,26</b>	<b>9,89</b>
5	20	0,8000	-0,48	0,000	0,000	0,000	0,915	6,17	7,47
10	10	0,9000	-0,83	0,000	0,000	0,000	0,778	5,31	6,47
25	4	0,9600	-1,15	0,000	0,000	0,000	0,653	4,52	5,55
50	2	0,9800	-1,35	0,000	0,000	0,000	0,575	4,03	4,98
100	1	0,9900	-1,53	0,000	0,000	0,000	0,505	3,58	4,47
1000	0,1	0,9990	-1,94	0,000	0,000	0,000	0,345	2,57	3,30
10000	0,01	0,9999	-2,20	0,000	0,000	0,000	0,243	1,93	2,56

Na Slici 48. grafički je prikazana vjerojatnost pojave prosječnih minimalnih (a) i srednjih (b) godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernim postajama: Bačina (zeleno oznaka), Krotuša (plava oznaka) i Šipak (žuta oznaka).



a)



b)

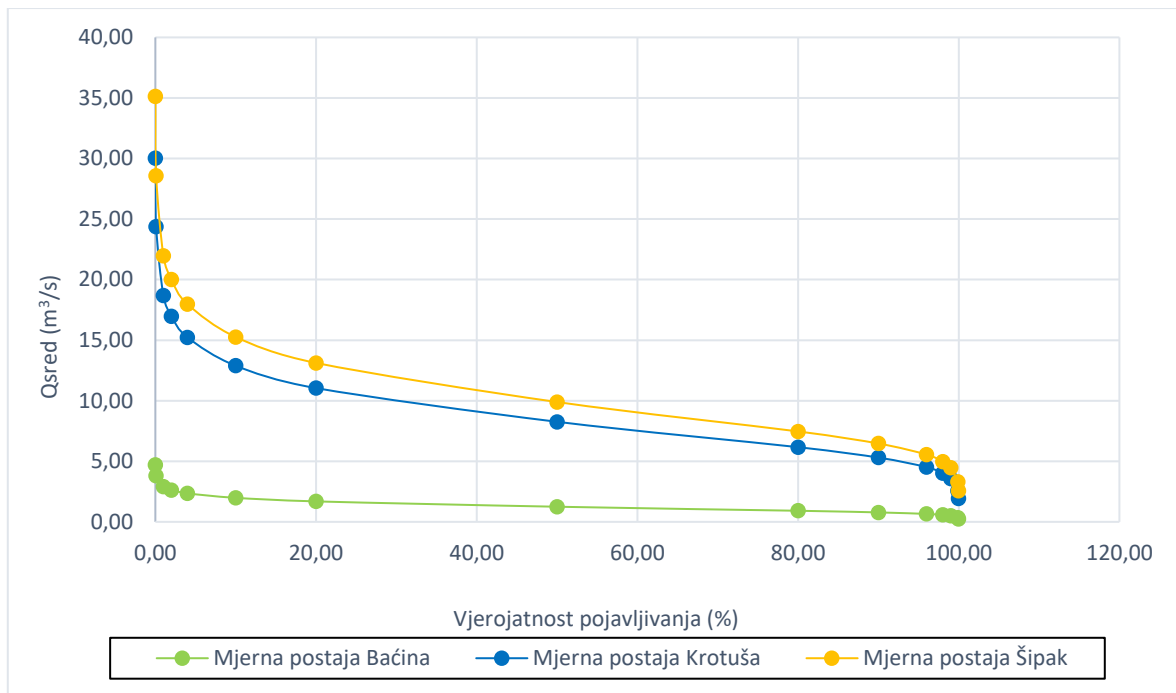
Slika 48. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave minimalnih (a) i srednjih (b) prosječnih godišnjih protoka u smjeru najmanjih vrijednosti na mjernim postajama Bačina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

U Tablici 15. vidljiv je usporedni prikaz vjerojatnosti pojave srednjih i maksimalnih prosječnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti za razdoblje od 1979. do 2020. godine za promatrane mjerne postaje. Na mjernoj postaji Baćina u razdoblju povratnog perioda od dvije godine i vjerojatnost pojavljivanja od 50 % srednji protok iznosio bi 1,25 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period maksimalni protok iznosio 3,98 m<sup>3</sup>/s. Na mjernoj postaji Krotuša u razdoblju povratnog perioda od dvije godine i vjerojatnost pojavljivanja od 50 % srednji protok iznosio bi 8,26 m<sup>3</sup>/s, dok bi za isti povratni period maksimalni protok iznosio 46,8 m<sup>3</sup>/s. Na mjernoj postaji Šipak u istom razdoblju srednji protok iznosio bi 9,89 m<sup>3</sup>/s, dok bi maksimalni protok iznosio 54,3 m<sup>3</sup>/s. Na mjernoj postaji Baćina u razdoblju povratnog perioda od 100 godina i vjerojatnost pojavljivanja od 1 % srednji protok iznosio bi 2,90 m<sup>3</sup>/s, dok bi maksimalni protok iznosio 6,84 m<sup>3</sup>/s. U istom razdoblju na mjernoj postaji Krotuša srednji protok iznosio bi 18,7 m<sup>3</sup>/s, dok bi maksimalni protok iznosio 51,4 m<sup>3</sup>/s. Na mjernoj postaji Šipak u navedenom razdoblju srednji protok iznosio bi 22,0 m<sup>3</sup>/s, dok bi maksimalni protok iznosio 69,5 m<sup>3</sup>/s.

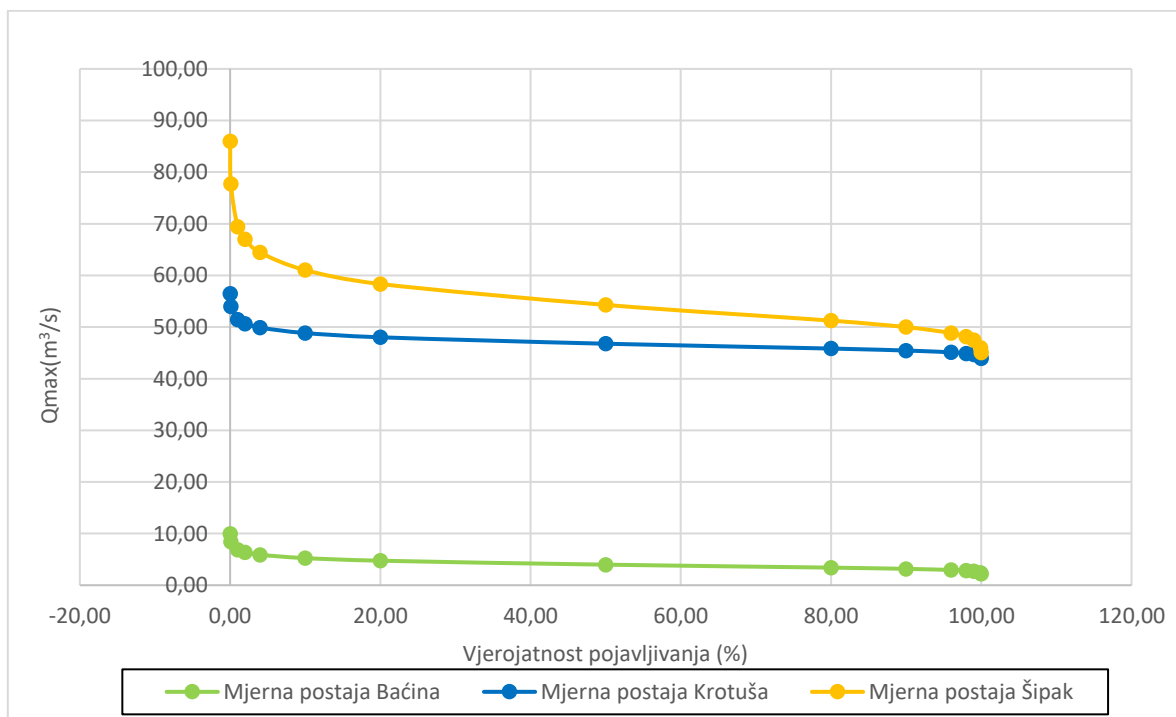
Tablica 15. Usporedni prikaz vjerojatnosti pojave srednjih i maksimalnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

Gumbelova raspodjela									
Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	p1	z	Qsred	Qsred	Qsred	Qmax	Qmax	Qmax
(god.)	(%)			Baćina (srednji protoci)	Krotuša (srednji protoci)	Šipak (srednji protoci)	Baćina (maksimalni protoci)	Krotuša (maksimalni protoci)	Šipak (maksimalni protoci)
10000	0,01	0,9999	9,21	4,70	30,0	35,1	9,96	56,5	86,0
1000	0,1	0,9990	6,91	3,80	24,4	28,6	8,40	54,0	77,7
<b>100</b>	<b>1</b>	<b>0,9900</b>	<b>4,60</b>	<b>2,90</b>	<b>18,7</b>	<b>22,0</b>	<b>6,84</b>	<b>51,4</b>	<b>69,5</b>
50	2	0,9800	3,91	2,63	17,0	20,00	6,37	50,7	67,0
25	4	0,9600	3,20	2,35	15,2	18,00	5,89	49,9	64,4
10	10	0,9000	2,25	1,98	12,9	15,3	5,25	48,8	61,0
5	20	0,8000	1,50	1,69	11,0	13,1	4,75	48,0	58,3
<b>2</b>	<b>50</b>	<b>0,5000</b>	<b>0,37</b>	<b>1,25</b>	<b>8,26</b>	<b>9,89</b>	<b>3,98</b>	<b>46,8</b>	<b>54,3</b>
1,25	80	0,2000	-0,48	0,915	6,17	7,47	3,41	45,8	51,2
1,1111	90	0,1000	-0,83	0,778	5,31	6,47	3,17	45,5	50,0
1,0417	96	0,0400	-1,15	0,653	4,52	5,55	2,96	45,1	48,8
1,0204	98	0,0200	-1,35	0,575	4,03	4,98	2,82	44,9	48,1
1,0101	99	0,0100	-1,53	0,505	3,58	4,47	2,70	44,7	47,5
1,0010	99,9	0,0010	-1,94	0,345	2,57	3,30	2,42	44,2	46,0
1,0001	99,99	0,0001	-2,20	0,243	1,93	2,56	2,25	43,9	45,1

Na Slici 49. grafički je prikazana vjerojatnost pojave prosječnih srednjih (a) i maksimalnih (b) godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernim postajama: Baćina (zelena oznaka), Krotuša (plava oznaka) i Šipak (žuta oznaka).



a)



b)

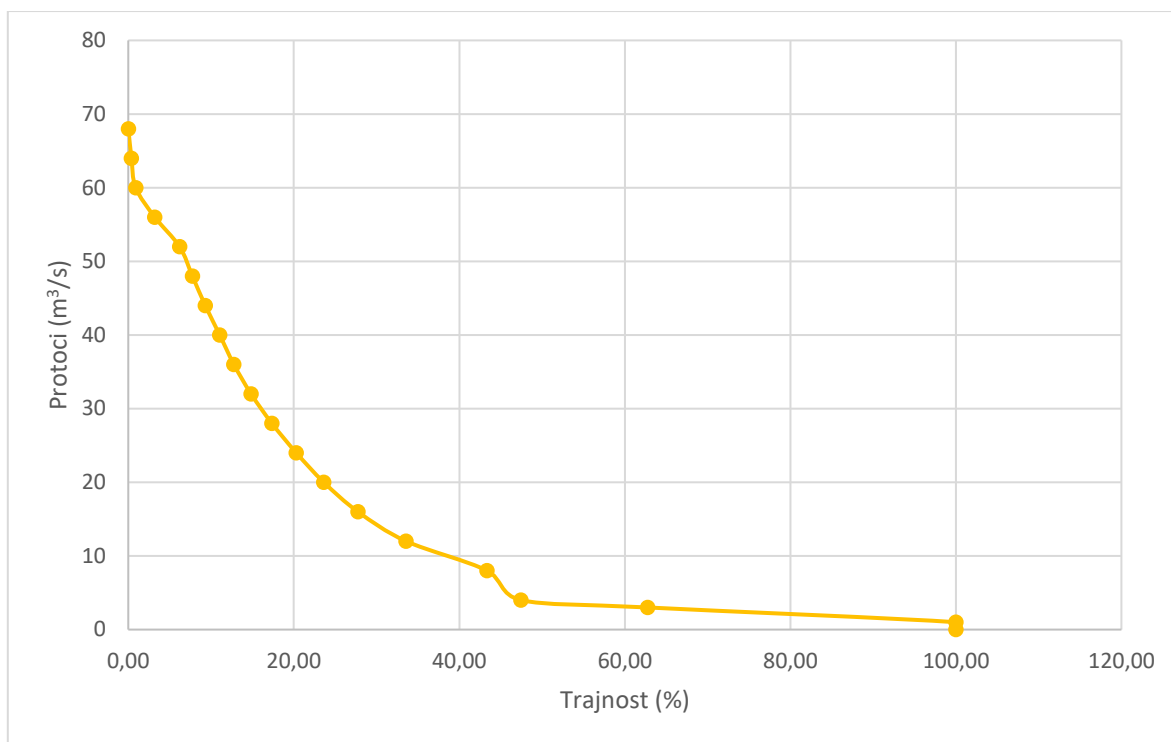
Slika 49. Grafički prikaz vjerojatnosti pojave srednjih (a) i maksimalnih (b) prosječnih godišnjih protoka u smjeru najvećih vrijednosti na mjernim postajama Baćina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

## 6.6. Krivulje učestalosti i trajanja za mjernu postaju Šipak

Na hidrološkoj postaji Šipak provedena je analiza učestalosti i trajnosti srednjih dnevnih protoka za razdoblje od 01.01.1973. do 31.12.2020. Maksimalna zabilježena vrijednosti protoka za srednje karakteristične dnevne protoke iznosi 67,1 m<sup>3</sup>/s, s obzirom na zabilježenu vrijednost, odabran je raspon podataka vrijednosti od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 68,00 m<sup>3</sup>/s. U tablici 16. prikazane su vrijednosti karakterističnih srednjih dnevnih protoka. Najčešće vrijednosti kreću se između 3,00 m<sup>3</sup>/s i 8,00 m<sup>3</sup>/s. Na Slici 50. prikazana je krivulja trajnosti za karakteristične srednje dnevne protoke.

Tablica 16. Prikaz karakterističnih trajnosti srednjih dnevnih protoka na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1979. do 2020. god.: (izradio autor)

PRAG PROTOKA (m <sup>3</sup> /s)	TRAJNOST (%)
SUHO	100,00
>1	100,00
>3	62,76
>4	47,45
>8	43,36
>12	33,57
>16	27,76
>20	23,63
>24	20,30
>28	17,35
> 32	14,84
>36	12,76
> 40	11,05
> 44	9,30
>48	7,75
>52	6,20
>56	3,20
>60	0,90
>64	0,38
>68	0,01



Slika 50. Grafički prikaz krivulje trajnosti za karakteristične srednje dnevne protoke na mjernoj postaji Šipak za razdoblje od 1973. do 2020. god.: (izradio autor)

### 6.7. Krivulje učestalosti i trajanja za mjerne postaje Baćina, Krotuša i Šipak

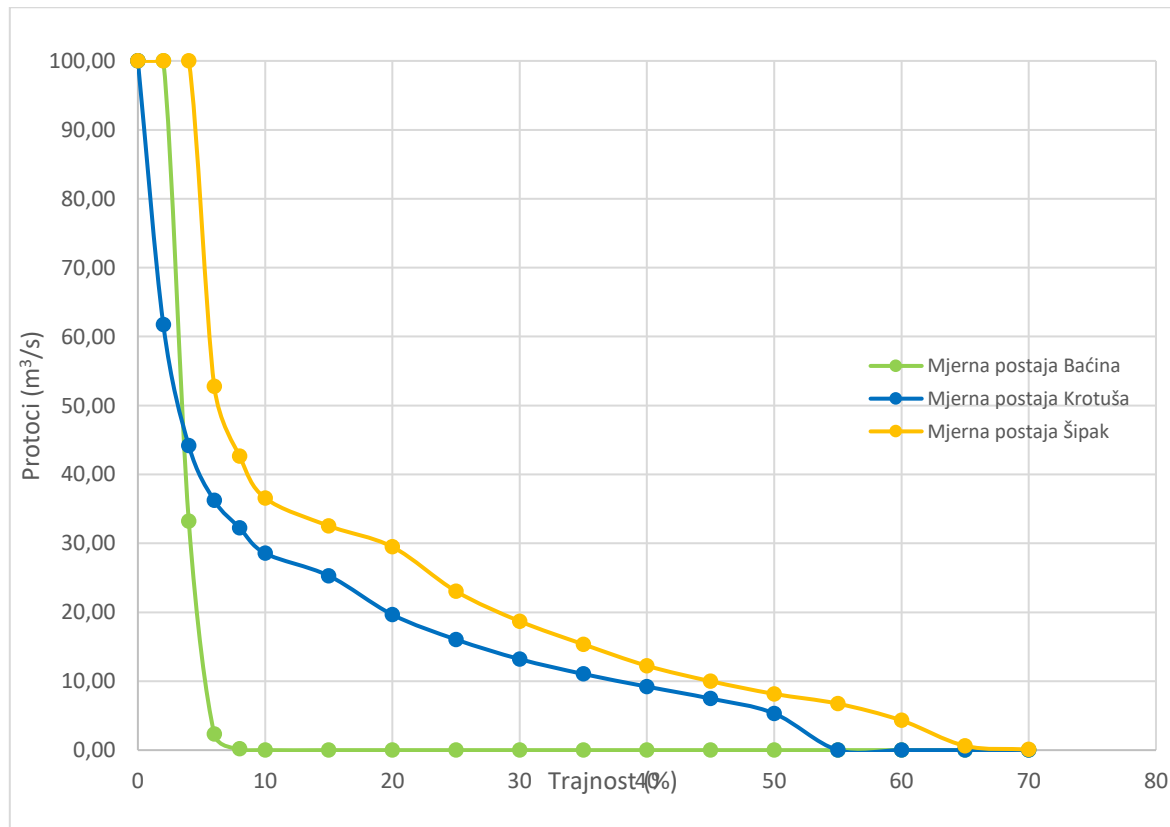
Na hidrološkim postajama Baćina, Krotuša i Šipak provedena je analiza učestalosti i trajnosti dnevnih protoka za razdoblje od 01.01.1979. do 31.12.2001. godine. Provedena analiza trajanja pojedinih vrijednosti prikazana je u Tablici 17.

Maksimalna zabilježena vrijednosti protoka za promatrane hidrološke postaje iznosi 67,1 m<sup>3</sup>/s, s obzirom na zabilježenu vrijednost, odabran je raspon podataka vrijednosti od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 70,00 m<sup>3</sup>/s.

U Tablici 17. prikazane su vrijednosti karakterističnih srednjih dnevnih protoka. Na hidrološkoj postaji Baćina protoci se kreću u rasponu od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 10,00 m<sup>3</sup>/s, na postaji Krotuša protoci se kreću u rasponu od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 50,00 m<sup>3</sup>/s dok se na mjernoj postaji Šipak protoci kreću od 0,00 m<sup>3</sup>/s do 70,00 m<sup>3</sup>/s. Iz Slike 51. možemo zaključiti kako se najmanji protoci javljaju na mjernoj postaji Baćina do maksimalno 8,00 m<sup>3</sup>/s, dok se najveći protoci do 70 m<sup>3</sup>/s javljaju na mjernoj postaji Šipak.

Tablica 17. Usporedni prikaz trajnosti dnevnih protoka na hidrološkim postajama Bačina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2001. god.: (izradio autor)

PRAG PROTOKA (m <sup>3</sup> /s)	TRAJNOSTI (%) BAČINA	TRAJNOSTI (%) KROTUŠA	TRAJNOSTI(%) ŠIPAK
SUHO	100,00	100,00	100,00
>2	100,00	61,73	100,00
>4	33,20	44,18	100,00
>6	2,35	36,23	52,77
>8	0,18	32,23	42,63
>10	0,00	28,56	36,57
>15	0,00	25,30	32,54
>20	0,00	19,65	29,49
>25	0,00	16,05	23,05
>30	0,00	13,20	18,70
>35	0,00	11,05	15,36
40	0,00	9,21	12,24
>45	0,00	7,48	10,00
>50	0,00	5,32	8,15
>55	0,00	0,00	6,74
>60	0,00	0,00	4,31
>65	0,00	0,00	0,62
>70	0,00	0,00	0,10



Slika 51. Grafički prikaz usporedbe krivulja trajanja dnevnih protoka na hidrološkim postajama Bačina, Krotuša i Šipak za razdoblje od 1979. do 2001. god.: (izradio autor)



## 7. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom analizirano je stanje vodnog režima Baćinskih jezera, te samog utjecaja jezera na okolna područja pod posebnom opaskom na stanje s poplavnim vodama na području Vrgorskog polja. Vodni režim Baćinskih jezera naglo je i definitivno promijenjen krajem 1912. godine kada je Vrgorsko polje uslijed učestalih višemjesečnih poplava spojeno s Baćinskim jezerima tunelom Krotuša. Krajnji rezultat izvedenih radova rezultirao je smanjenjem poplava u Vrgoračkom polju u prosjeku za 3,00 m.

Osnovnom statističkom obradom podataka na hidrološkim postajama Baćina, Klokun i Šipak evidentirani su podaci karakterističnih mjesečnih i godišnjih minimalni, srednjih i maksimalnih protoka za razdoblje od 1979. do 2020. godine, najveći protok u promatranom razdoblju zabilježen je na postaji Šipak 1996 godine, iznosio je 67,10 m<sup>3</sup>/s. Bitno je za istaknuti da na promatranim postajama Baćina i Šipak tijekom ljetnih mjeseci dolazi do značajnog pada protoka, pa čak i do isušivanja korita poznavajući činjenicu da je riječ o sustavu jezera.

Kako bi se mogli izvesti zaključci o zajedničkim obilježjima na promatranim hidrološkim postajama provedla se analiza homogenosti. Provedenom analizom izrazita homogenost zabilježena je pri srednjim i maksimalnim protocima između stanica Baćina i Šipak te Krotuša i Šipak, dok je najmanja homogenost odnosno značajnije odstupanje linearne linije zabilježeno između mjernih stanica Krotuša i Šipak pri minimalnim protocima.

U promatranom razdoblju od 1979. do 2020. godine linija trenda za minimalne protoke je u najizraženijem padu na mjernoj postaji Baćina, na istoimenoj postaji godišnja količina protoka kreće se između 0,00 m<sup>3</sup>/s i 0,52 m<sup>3</sup>/s. Linija trenda s najizraženijim porastom zabilježena je kod maksimalnih protoka na mjernoj postaji Šipak, navedeni protoci kreću se između 40,00 m<sup>3</sup>/ do 60,00 m<sup>3</sup>/s.

Analizom hidroloških postaja vidljivo je da tijekom lipnja, srpnja i kolovoza maksimalni protoci niti na jednoj od promatranih postaja ne prelaze preko 5,00 m<sup>3</sup>/s, dok se tijekom hladnijih mjeseci u godini: siječanj, veljača, ožujak, listopad, studeni i prosinac maksimalni protoci kreću između 25,00 m<sup>3</sup>/s do 50 m<sup>3</sup>/s. Za istaknuti je da se na postaji Baćina minimalni protoci tijekom cijele godine kreću oko 1,00 m<sup>3</sup>/s uz već spomenut pad tijekom ljetnih mjeseci.

Najveće anomalije na promatranim postajama zabilježene su na postajama Krotuša i Šipak pri maksimalnim protocima koji se u početnim mjesecima godine kreću oko 50,00 m<sup>3</sup>/s da bi se

tijekom ljetnih mjeseci spustili na razinu manju od 10,00 m<sup>3</sup>/s te ponovnom pojavom hladnijih mjeseci vratili na razine od otprilike 50,00 m<sup>3</sup>/s.

Zbog vrlo dobro izgrađenog hidrotehničkog sustava osiguranja dotoka i istjecanja vode iz Baćinskih jezera te zbog male tromosti uzrokovane velikim brojem vanjskih kontroliranih dotoka očekuje se kako će se Baćinska jezera jednostavno prilagoditi na negativne klimatske promjene. Unatoč tome, zbog podizanja razine mora i usporavanja istjecanja vode jezera smanjit će se kapaciteti dijelova sustava za evakuaciju poplavne vode, zbog čega je potrebno unaprijediti i optimizirati sustav.

## LITERATURA

### a) Knjige

Ožanić, N., Karleuša B., Gjetvaj, G., Travaš, V., Marušić, J., Pondeljak, J., Romić, D., Bonnaci, O., Josipović, M., Madjar, J., Šoštarić, J., Rubinić J., *Priručnik za hidrotehničke melioracije: Elementi planiranja hidromelioracijskih sustava*. III kolo. Knjiga 2. Rijeka: Liber d.o.o., 2005.

Hrelja, H., *Vjerojatnoća i statistika u hidrologiji*, Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Sarajevo, 2000.

### b) Članci, časopisi i objave

Marković, B., i suradnici, *Elaborat zaštite okoliša - Zahvat: mala hidroelektrana Ploče*, EKONERG – Institut za energetiku i zaštitu okoliša, d.o.o, Zagreb, 2018.

Curić, Z., *Baćinska jezera-dragulj našeg krša*, *Priroda*, 77, 3/4, 38-39, 1988./1989.

Curić, Z., *Hidrogeografske značajke donjoneeretvanskog kraja*, *Zbornik radova 1. hrvatska konferencija o vodama*, Knjiga 2 (ur. D. Gereš), 463- 469, Hrvatske vode, Zagreb, 1995.

Rubinić, J., Radišić, M., Bušelić, G., Čuže-Denona, M., *Kriptodepresije jezerskih sustava na području hrvatskog priobalja - hidrološko stanje i rizici od neželjenih promjena*. Zbornik radova / Proceedings 7. hrvatska konferencijama o vodama, hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode, Opatija, 2019.

O. Bonacci i T. Roje-Bonacci, *Utjecaj hidrotehničkih zahvata na vodni režim Baćinskih jezera: stručni članak*, Hrvatske vode 28 (2020) 114 277-290, 2020.

Bonacci, O i Švonja, M., *Promjene vodnog režima Baćinskih jezera*. *Građevinar*, 36(2), 53-58, 1984.

Bonacci, O., *Hidrološka analiza poplava u poljima u kršu*. *Vodoprivreda*, 18(102-103), 219-229, 1986.

Bonacci, O., *Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj*. *Građevinar*, 62(9), 781-791, 2010.

Bonacci, O., *Poljes, ponors and their catchments. Treatise on Geomorphology, Vol 6, Karst Geomorphology* (ur. J. F. Shroder, A. Frumkin), 112-120, Academic Press, San Diego, US, 2013.

Margeta, J.; Knezić, S., *Izbor zaštite Vrgorskoga polja od plavljenja*, Hrvatske vode, 35, 9, 163-175, 2001.

Tanocki, Z.; Crljenko, I. *Prirodne ljepote hrvatske - Jezera hrvatske*, Zagreb, Školska knjiga, 2011.

Erdelez, A., i suradnici, *Zahtjev za izdavanje upute o sadržaju studije: zaštita od poplava na slivovima polja Rastok i Vrgorskog polja*, Fidon d.o.o. za projektiranje i savjetovanje, d.o.o, Zagreb, 2020.

Tadić, T., *Podatci i uzorak, Aritmetička sredina i standardna devijacija*, Poučak 69, 16-26, 2016.

Franjić, I., (*BIO/STATISTIKA*), studij Prehrambene tehnologije i Biotehnologije, skripta, 2012.

Žugaj, R., *Hidrologija za agroekologe*, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet Zagreb, Zagreb, 2009.

### c) Predavanja

Ožanić, N., *Predavanja – Hidrologija I.*, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2004.

### d) Internetske stranice

Dinarsko gorje: *Baćinska jezera - detalj stare topografske karte izvornog mjerila 1:100 000*, <https://www.dinarskogorje.com/stri382evo.html> , pristup: (06. lipnja 2022.)

Izvor Ploče d.o.o.: *Vodocrpilišta "Klokun" i "Modro Oko"*, <https://izvor.ploce.hr/vodocrpilista-klokun-i-modro-oko/> , pristup: (14.lipnja 2022.)

Turistička zajednica Grada Ploča: *Stasevica i polje Jezero*, <https://visitploce.com/hr/stasevica-i-polje-jezero/>, pristup: (17.lipnja 2022.)

Hrvatske vode: *Poplave na Vrgoračkom području*, <https://www.voda.hr/hr/novosti/poplave-na-vrgorackom-podrucju-1>, pristup: (17.lipnja 2022.)

Ploče Online: *Ante Erak malo detaljnije o izgradnji tunela Marićevac*,  
<https://ploce.com.hr/regija/ante-erak-malo-detaljnije-o-izgradnji-tunela-maricevac/>  
pristup: (19.lipnja 2022.)

Državni hidrometeorološki zavod: *sektor za hidrologiju*: <https://hidro.dhz.hr>, pristup:  
(23.lipnja 2022.)