

Analiza i usporedba homogenosti godišnjih protoka Save i Krapine u razdoblju 1980. – 2018.

Pervan, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:934667>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij Geološkog inženjerstva

ANALIZA I USPOREDBA HOMOGENOSTI GODIŠNJIH PROTOKA SAVE I
KRAPINE U RAZDOBLJU 1980. – 2018.

Diplomski rad

Marko Pervan

GI 376

Zagreb, 2021.



KLASA: 602-04/21-01/49
URBROJ: 251-70-03-21-2
U Zagrebu, 08.06.2021.

Marko Pervan, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/49, UR. BROJ: 251-70-14-21-1 od 08.04.2021. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

ANALIZA I USPOREDBA HOMOGENOSTI GODIŠNJIH PROTOKA SAVE I KRAPINE U RAZDOBLJU 1980. – 2018.

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu dr. sc. Krešimir Pavlić, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Krešimir Pavlić

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)

Zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Krešimiru Pavliću koji me svojim znanjem i iskustvom usmjeravao kroz izradu diplomskog rada.

Hvala profesorima, docentima i asistentima koji su svojim radom i strpljenjem nastojali prenijeti znanje na nas studente.

Veliko hvala mojim roditeljima i curi koji su mi bili podrška i motivacija tijekom studiranja. Hvala svim prijateljima jer su mi studentske dane učinili nezaboravnim dijelom života.

Hvala svima!

ANALIZA I USPOREDBA HOMOGENOSTI GODIŠNJIH PROTOKA SAVE I
KRAPINE U RAZDOBLJU 1980. – 2018.

MARKO PERVAN

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za matematiku, informatiku i nacrtanu geometriju

Peirottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom diplomskom radu, primarni cilj je bio odrediti godinu u kojoj je došlo do promjene u režimu otjecanja na razmatranom području rijeke Save i Krapine. Napravljen je Wilcoxonov test rangiranja kojim su uspoređivana dva hidrološka niza iz različitih razdoblja. Korišteni podaci srednjih godišnjih protoka dobiveni su s dvije hidrološke stanice. Pomoću hidrograma napravljene su usporedbe trendova godišnjih protoka. Za podatke s tri kišomjerne stanice, kao i za one s hidroloških stanica, izračunati su osnovni statistički parametri. Na svakoj kišomjernoj stanici prikazan je godišnji hod oborina. Krajnji cilj je bio utvrditi da li su promjene u režimu otjecanja uzrokovane klimatskim promjenama i/ili ljudskim djelovanjem.

Ključne riječi: homogenost, trendovi, protok, oborina, hidrološka stanica, kišomjerna stanica, Sava, Krapina, Wilcoxonov test rangiranja

Završni rad sadrži: 47 stranica, 12 tablica, 15 slika, 3 priloga i 23 reference

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Doc.dr.sc. Krešimir Pavlić, RGNF

Povjerenstvo: Doc.dr.sc. Krešimir Pavlić, RGNF

Izv.prof. dr. sc. Dario Perković, RGNF

Doc.dr.sc. Zoran Kovač, RGNF

Datum obrane: 11. lipnja 2021.

University of Zagreb

Master's Thesis

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

ANALYSIS AND COMPARISON OF HOMOGENEITY OF ANNUAL
FLOWS OF SAVA AND KRAPINA IN THE PERIOD 1980 – 2018

MARKO PERVAN

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Mathematics, informatics and descriptive
geometry

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

In this thesis, the primary goal was to determine the year in which there was a change in the runoff regime in the considered area of the Sava and Krapina rivers. A Wilcoxon ranking test was performed comparing two hydrological series from different periods. The mean annual flow data that was used were obtained from two hydrological stations. Comparisons of annual flow trends were made using hydrograms. Basic data were calculated for data from three rain gauge stations, as well as for those from hydrological stations. The annual course of precipitation is shown at each rain gauge station. The ultimate goal was to determine whether the changes in the runoff regime were caused by climate change and / or human activity.

Keywords: homogeneity, trends, discharge, precipitation, hydrological stations, rain gauge stations, Sava, Krapina, Wilcoxon rank test

Thesis contains: 47 pages, 12 tables, 15 figures, 3 attachments and 23 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Assistant professor Krešimir Pavlić, PhD

Reviewers: Assistant professor Krešimir Pavlić, PhD

Associate professor Dario Perković, PhD

Assistant professor Zoran Kovač, PhD

Date of defense: June 11, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Osnovne značajke slivnog područja rijeke Save i Krapine	3
1.2. Reljef i topografija	6
1.3. Geološke značajke.....	7
1.4. Klimatološke značajke.....	9
2. TEORIJSKE OSNOVE.....	10
2.1. Osnovni statistički parametri	12
2.2. Wilcoxonov test rangiranja	14
2.3. Hidrološki i meteorološki podaci	16
2.3.1. Kišomjerne stanice	16
2.3.2. Hidrološke stanice	18
3. REZULTATI	20
3.1. Rezultati s hidroloških stanica	20
3.2. Rezultati s kišomjernih stanica	31
4. RASPRAVA.....	42
5. ZAKLJUČAK.....	45
6. LITERATURA	46

POPIS PRILOGA

Prilog 1/3.....Wilcoxonov test rangiranja za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara (Sava) za modificirani niz od 1981. do 2018.

Prilog 2/3.....Wilcoxonov test rangiranja za nizove maksimalnih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara (Sava) za modificirani niz od 1981. do 2018.

Prilog 3/3.....Wilcoxonov test rangiranja za nizove minimalnih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara (Sava) za modificirani niz od 1981. do 2018.

POPIS SLIKA

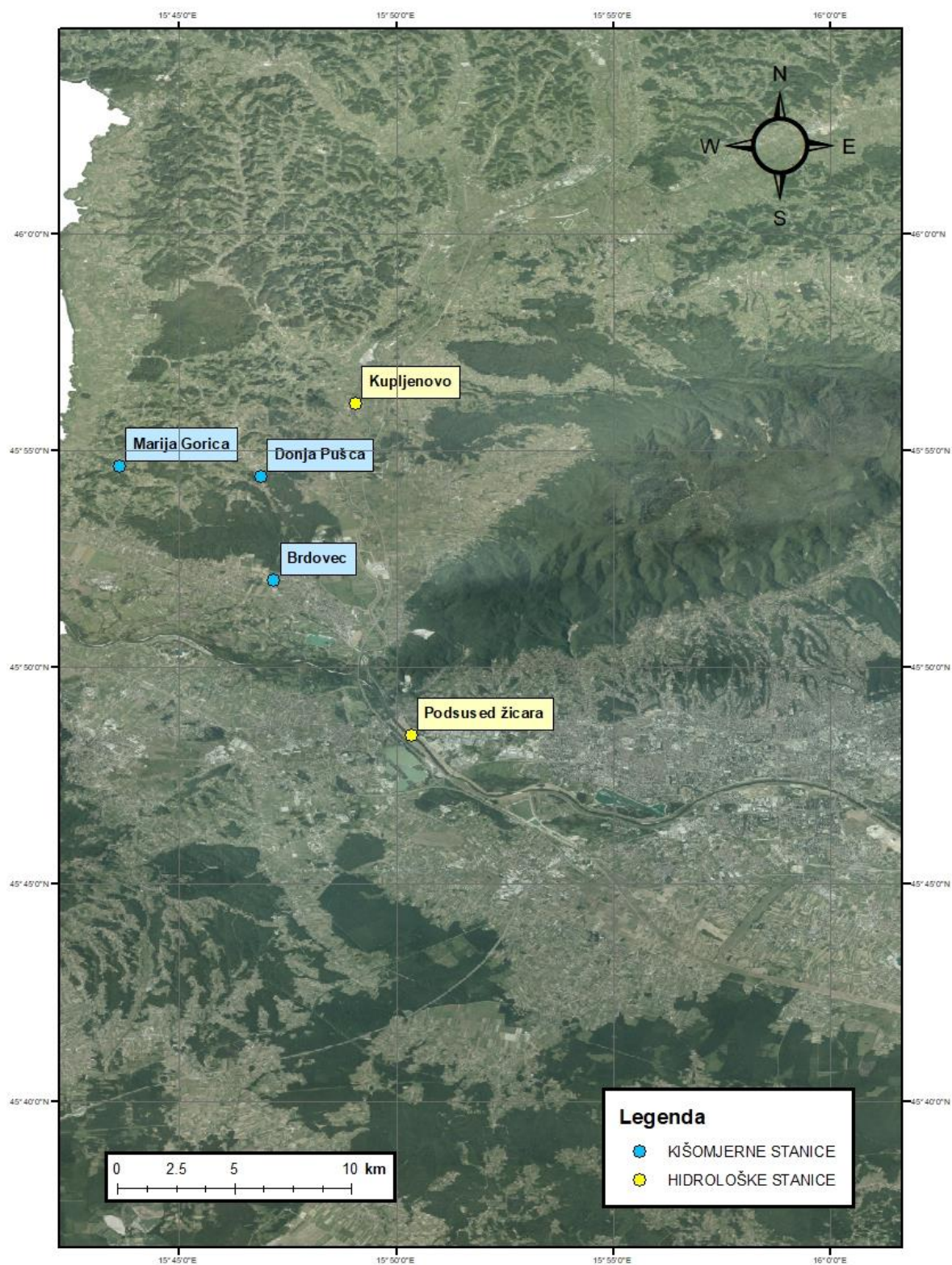
Slika 1.1 Područje istraživanja	2
Slika 1.2 Slap Nadiža, izvor Save Dolinke (WIKIMEDIA,2019)	4
Slika 1.3 Ušće rijeke Save (WIKIPEDIJA, 2018)	5
Slika 1.4 Rijeka Krapina (WIKIPEDIJA, 2021)	5
Slika 1.5 Digitalni model reljefa sliva rijeke Save (SAVACOMMISSION, 2014).....	6
Slika 2.1 Kišomjerna stanica u Jaškovu u blizini grada Ozlja (DHMZ)	17
Slika 2.2 Hidrogram (Žugaj, 2000)	19
Slika 3.1 Hidrogram srednjih godišnjih protoka u razdobljima (1964. – 1980.) i (1981. – 2018)	25
Slika 3.2 Hidrogram maksimalnih godišnjih protoka u razdobljima (1964. – 1980.) i (1981. – 2018)	27
Slika 3.3 Hidrogram minimalnih godišnjih protoka u razdobljima (1964. – 1980.) i (1981. – 2018)	29
Slika 3.4 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Brdovec.....	33
Slika 3.5 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća (NIZ 1).....	36
Slika 3.6 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća (NIZ 2).....	37
Slika 3.7 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica (NIZ 1)	40
Slika 3.8 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica (NIZ 2)	41

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Kišomjerne stanice (DHMZ)	17
Tablica 3-1 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije(σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara za originalni niz.....	21
Tablica 3-2 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije(σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara za modificirani niz.....	21
Tablica 3-3 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije(σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo za originalni niz	22
Tablica 3-4 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije(σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo za modificirani niz	22
Tablica 3-5 Rezultati ispitivanja homogenosti za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara (Sava).....	23
Tablica 3-6 Rezultati ispitivanja homogenosti za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Kupljenovo (Krapina)	23
Tablica 3-7 Trendovi srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara (Sava)	29
Tablica 3-8 Trendovi srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo (Krapina)	30
Tablica 3-9 Prikaz vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici Brdovec	32
Tablica 3-10 Prikaz vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća	35
Tablica 3-11 Prikaz vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica.....	39

1. UVOD

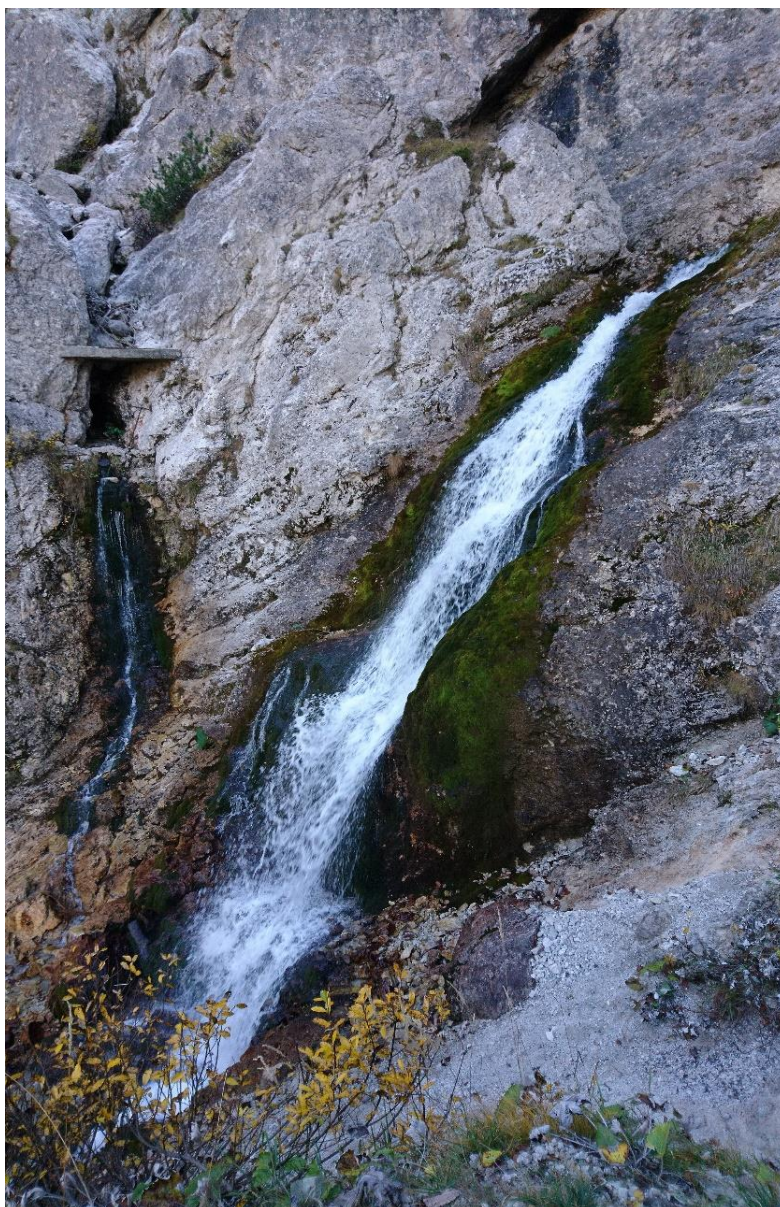
Na temelju podataka o protocima zabilježenim na hidrološkoj stanici Podsused žičara koja se nalazi na rijeci Savi te stanice Kupljenovo koja se nalazi na rijeci Krapini provedena je analiza trenda. Izračunati su neki osnovni statistički parametri, za razdoblje od 1964. – 2018. godine koje je podijeljeno u dva niza, sa svake hidrološke stanice, poput: prosjeka, standarde devijacije, koeficijenta varijacije (c_v) i koeficijenta asimetrije (c_s). Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije izračunate su zbog dobivanja informacije jesu li raspoloživi nizovi hidroloških podataka dovoljno dugi za donošenje pouzdanih zaključaka. Nakon toga proveden je Wilcoxonov test homogenosti koji nam daje važnu ocjenu, pri uspoređivanju dvaju hidroloških nizova iz različitih razdoblja, čine li razmatrani nizovi iz različitih razdoblja homogen niz. Cilj je bio da se pomoću podataka srednjih godišnjih protoka, s dvije bliske hidrološke stanice, utvrdi točna godina promjene u režimu otjecanja te da se pokuša ustanoviti da li su promjene u režimu otjecanja nastale zbog antropološkog utjecaja ili zbog utjecaja klimatskih promjena. Na temelju podataka o oborinama s tri kišomjerne stanice (Brdovec, Donja Pušća i Marija Gorica) izračunati su statistički parametri za svaku stanicu. Od osnovnih statističkih parametara izračunati su: aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije, koeficijent asimetrije te minimum i maksimum vrijednosti. Wilcoxonov test homogenosti nije proveden na kišomjernim stanicama zbog velike isprekidanosti podataka. Za svaku kišomjernu stanicu prikazan je i godišnji hod oborina. Godišnji hod oborina ima veliku važnost i bitno utječe na razgraničenje između pojedinih klimatskih tipova unutar klimatskog razreda C (umjereno tople kišne klime) kojemu pripada veći dio površine Republike Hrvatske. Područje istraživanja u ovom radu, koje pripada kontinentalnom režimu padalina, karakteriziraju veće količine oborina u toplijoj polovici godine dok se glavni minimum javlja od siječnja do ožujka ili travnja. Wilcoxonov test homogenosti kao i izračun statističkih parametara te obrada podataka bit će detaljnije opisani u sljedećim poglavljima. Područje istraživanja s lokacijama hidroloških i kišomjernih stanica prikazano je na slici (Slika 1.1).



Slika 1.1 Područje istraživanja

1.1. Osnovne značajke slivnog područja rijeke Save i Krapine

Sava Dolinka izvire kao slap Nadiža u Tamarskoj dolini (Slika 1.2), no odmah nakon toga ponire i teče podzemljem kroz dolinu Planice do Zelenaca kod Kranjske Gore, gdje se pojavljuje kao zeleno jezerce. Sava Bohinjka nastaje izlivanjem iz Bohinjskog jezera kod mjesta Ribčev Laz u blizini Lencova u Sloveniji. Rijeka Sava nastaje upravo spajanjem Save Dolinke i Save Bohinjske. Teren u području sliva rijeke Save je vrlo promjenjiv. On se značajno mijenja od izvora na zapadu do svog ušća sa Dunavom na istoku. Gromadne planine (Alpe i Dinaridi) dominiraju gornjim dijelom sliva. Srednji i niži dio plovnog puta Save obilježavaju polja i niske planine koje su dio Panonske nizine, niskog, plodnog poljoprivrednog područja. Općenito, nadmorska visina sliva rijeke Save varira između približno 71 m iznad mora na ušću Save u Beogradu (Srbija) i 2.864 m iznad mora (Triglav, Slovenske Alpe). Prosječna nadmorska visina sliva iznosi 545 m iznad mora. Sava prolazi kroz četiri države, a gledajući od izvora prema ušću to su Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina te Srbija. Porječje Save obuhvaća 95.835 km². Osim navedenih zemalja, sliv rijeke Save obuhvaća i Crnu Goru, a malim dijelom i Albaniju te je pritom sama Sava dio crnomorskog sliva. Ukupna duljina vodotoka iznosi 946 km, od kojih Republikom Hrvatskom prolazi 510 km, dok se tečenjem nizvodno rijeka Sava ulijeva u Dunav u Srbiji (Slika 1.3). Rijeka Krapina, koja se smatra jednim od važnijih lijevih pritoka rijeke Save, nalazi se u Republici Hrvatskoj (Slika 1.4). Izvire na jugoistočnim padinama Ivanščice, a u Savu se ulijeva kraj Zaprešića. Duljina njezinog vodotoka iznosi oko 75 km. Porječje obuhvaća 1.236 km² i nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske te pripada prostoru središnje Hrvatske. U administrativnom pogledu 89% sliva rijeke Krapine pripada Krapinsko – zagorskoj županiji (1.100 km²), a 11% (136 km²) pripada Zagrebačkoj županiji (HRVATSKE VODE, 2017).



Slika 1.2 Slap Nadiža, izvor Save Dolinke (WIKIMEDIA,2019)



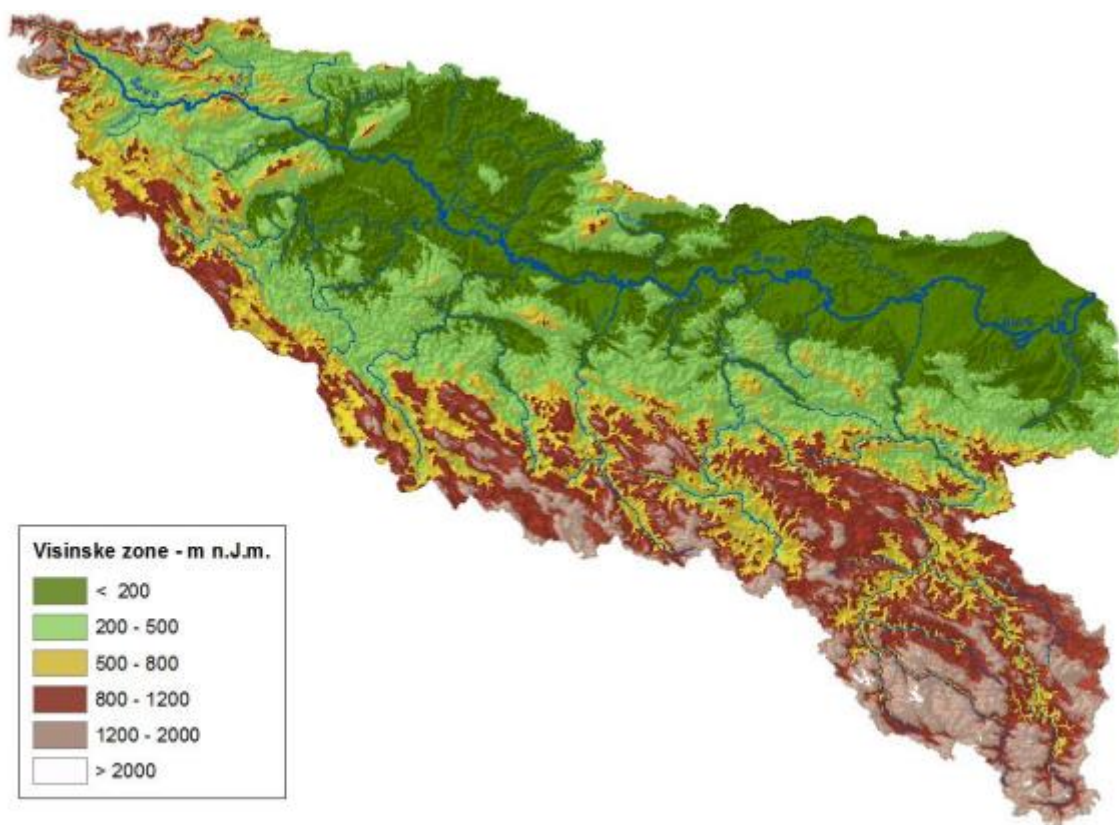
Slika 1.3 Ušće rijeke Save (WIKIPEDIJA, 2018)



Slika 1.4 Rijeka Krapina (WIKIPEDIJA, 2021)

1.2. Reljef i topografija

Reljef unutar sliva rijeke Save je raznolik. Opće karakteristike reljefa prikazane su na slici (Slika 1.5). Planinski reljef (Alpe i Dinaridi) dominira u sjevernom i zapadnom dijelu sliva te južnom dijelu sliva.



Slika 1.5 Digitalni model reljefa sliva rijeke Save (SAVACOMMISSION, 2014)

Naročito brdovit teren je karakterističan za Crnu Goru i sjever Albanije. Sjeverni dio sliva rijeke Save smješten je u Panonoskoj nizini, koju karakterizira plodno poljoprivredno zemljište. Nadmorska visina sliva rijeke Save kreće se od 71 m n.m. na ušću rijeke Save u Beogradu (Srbija) do 2.864 m.n.m. na vrhu Triglav u Slovenskim Alpama (Slovenija). Srednja nadmorska visina sliva je približno 545 m.n.m. U skladu sa FAO klasifikacijom, dominantni nagib u slivu je umjereno strm. Srednja vrijednost nagiba u slivu rijeke Save je 15,8 % (SAVACOMMISSION, 2014).

1.3. Geološke značajke

Područje istraživanja, odnosno dijelove sliva rijeke Save i Krapine, karakteriziraju aluvijalni nanosi recentnih tokova Save koji spadaju u holocensko razdoblje. Pod ovim nazivom izdvojeni su sedimenti na području neposredno uz Savu, od kojih prevladava krupnozrnati pijesak te šljunak u manjoj zastupljenosti. Područje je od prve savske terase odvojeno 1 – 1,5 m visokim terasnim odsjekom (Šikić i sur., 1972).

Prva savska terasa razvijena je duž čitavog toka rijeke Save. Nakon taloženja šljunka i pijeska koji čini drugu savsku terasu nastupila je faza erozije i denudacije. Sava se usjekla u vlastite sedimente, kao u slučaju druge i treće terase. Po čitavoj terasi vidljiva su stara savska korita. Visina terasnog odsjeka pretežno iznosi 1 – 1,5 m, a ponegdje varira 0,5 – 2 m. Iz profila bušotina ustanovljeno je da u terasi prevladava krupnozrnati šljunak koji je pomiješan s pijeskom, dok su slojevi čistog pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Unutar pijeska na nekoliko mjesta nađena je holocenska makrofauna na osnovu koje se ne može detaljnije odrediti starost naslaga prve terase. Holocenska makrofauna ukazuje samo na toplu klimu, koja se nije razlikovala od današnje. Debljina aluvijalnog nanosa prve savske terase najčešće iznosi 10 – 25 m, a ponegdje su poznate debljine do 45 m (Šikić i sur., 1972).

Druga savska terasa razvijena je uz manje prekide duž čitavog toka rijeke Save na listu Zagreb. Nastala je usijecanjem Save u aluvijalne sedimente koje je prije nanijela. Sastoji se od izmjene krupnozrnatih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska u odnosu na šljunak povećava se u smjeru toka Save odnosno u smjeru sjeverozapad – jugoistok. U istom smjeru opada promjer valutica i veličina zrna pijeska. Debljina naslaga druge savske terase prilično varira zbog toga što su naslage taložene nakon intenzivne erozije. Također, na debljinu ovih naslaga znatno su utjecali neotektonski pokreti koji su bili vrlo intenzivni u Savskoj dolini. Na aluvijalnim naslagama druge savske terase nisu nađeni provodni fosili, pa je njezina starost određena na osnovu položaja prema gornjopleistocenskim naslagama kod Brezine i Samobora. Na tim lokacijama je vidljivo, kako su naslage druge savske terase taložene na već prije erodirane naslage barskog lesa, koji je taložen u gornjem pleistocenu (Šikić i sur., 1972).

Aluvijalni nanosi Krapine prekrivaju dosta veliku površinu, a iz profila plitkih bušotina ustanovljeno je, da u gornjem dijelu prevladavaju glina, glinoviti silt i sitnozrnati pijesak dok u donjem dijelu šljunak pomiješan s glinom ili pijeskom. Makrofauna iz aluvijalnih nanosa prve savske terase nađena je i u aluvijalnim nanosima Krapine. Debljina aluvijalnih naslaga iznosi 10 – 20 m (Šikić i sur., 1972).

1.4. Klimatološke značajke

U području sliva rijeke Save, koje predstavlja najveći sliv jugoistočne Europe, prevladava umjerena kontinentalna klima. Jasno se razlikuju topla i hladna sezona. Zime mogu biti oštre s obilnim snježnim oborinama, dok su ljeta topla i duga.

Klimatski uvjeti u području sliva se mogu klasificirati u tri opća tipa:

- alpska klima (gornji dio sliva rijeke Save),
- umjerena kontinentalna klima (područja desnih pritoka),
- umjerena kontinentalna klima (područje lijevih pritoka koje pripada panonskom bazenu).

Područje istraživanja ovog rada ima umjereno toplu, vlažnu klimu s toplim ljetima i hladnim zimama koja prema Köppenovoj klasifikaciji klime spada u tip Cfb. Prema Köppenovoj klasifikaciji gotovo cijela Hrvatska ima umjereno tople kišne klime (C), a jedino najviši planinski krajevi snježno-šumsku klimu (D). Samo dalmatinsko priobalje i otoci imaju sredozemnu klimu (Cs), dok su u ostalim dijelovima Hrvatske zastupljeni različiti tipovi umjereno toplih i vlažnih klime (Cf) koje se međusobno razlikuju prema stupnju topline ljetnih mjeseci (vruća, topla ili svježija ljeta) i godišnjem režimu padalina.

Prosječna godišnja temperatura za promatrano područje sliva rijeke Save, pri čemu su podaci preuzeti s meteorološke stanice Zagreb – Maksimir, iznosi otprilike 10,7°C. Srednja mjesečna temperatura u siječnju se spušta na oko -3,0°C, dok u srpnju može dostići 26,7°C. Količina i godišnja distribucija oborina su različiti unutar područja sliva. Prosječna godišnja količina oborina u promatranom području sliva rijeke Save se procjenjuje na 840,1 mm. Prosječna evapotranspiracija za meteorološku stanicu Zagreb – Maksimir iznosi otprilike 671 mm/godišnje (Zaninović i sur., 2008).

2. TEORIJSKE OSNOVE

Hidrološke podloge predstavljaju podaci dobiveni promatranjem i mjerenjem. Od prikupljenih podataka sastavlja se slijed podataka, koji predstavlja podatke poredane redoslijedom kojim su bili opaženi ili izmjereni. Primjeri nizova podataka su: maksimalne godišnje oborine različitih intenziteta, ukupne godišnje oborine, maksimalni, srednji i minimalni godišnji protoci i slično. Niz podataka se može prihvatiti kao niz vrijednosti slučajne varijable (promjenljive veličine), koji predstavlja podatke o nekim pojavama po redoslijedu (kronološki) ili veličini i na njega se mogu primijeniti metode matematičke statistike ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:

1. Članovi niza su slučajne veličine. Meteorološke i hidrološke veličine može se smatrati slučajnima zbog značajne količine različitih utjecaja o kojima one ovise.
2. Članovi niza su međusobno neovisni. Član kronološkoga niza ne smije utjecati na veličinu člana koji slijedi.
3. Niz mora biti homogen. Homogenost ili istovrsnost podataka je potrebno ispitati, ako postoje razlozi za to (primjerice promjene u vodnom režimu, promjene u profilu vodotoka i slično). Ispitivanja homogenosti provode se različitim testovima, primjerice Wilcoxonovim testom, Kolmogorovljevim testom i drugim statističkim metodama.
4. Članovi niza moraju biti stacionarni. Različite promjene uzrokuju nestacionarnost koja se na podatke odražava preko trendova i periodičnosti. Trend je usmjerivanje (padajuće ili rastuće) u vremenskim nizovima. On je sustavna i neprekidna pojava koja se proteže kroz cijeli vremenski niz. U sklopu hidrološkoga niza periodičnost predstavljaju pravilni ili promjenljivi oblici koji se dnevno, sezonski, godišnje ili višegodišnje pravilno izmjenjuju. Zbog nestacionarnosti tijekom vremena može doći do značajnih promjena veličina karakterističnih parametara (prosjeck, koeficijent varijacije, koeficijent asimetrije i tako dalje).
5. Niz mora biti dovoljno dug. Kada se primjenjuju hidrološki postupci temeljni problem predstavlja procjenjivanje jesu li raspoloživi nizovi osnovnih hidroloških podataka dovoljno dugi za donošenje pouzdanih zaključaka (Žugaj, 2015).

Duljina hidrološkog niza može se provjeriti na osnovi veličine pogreške koeficijenta varijacije σ_{cv} prema formuli:

$$\sigma_{cv} = c_v \sqrt{\frac{1 + 2c_v^2}{2n}} \quad (2-1)$$

gdje je c_v koeficijent varijacije, a n broj članova niza. Ukoliko je $\sigma_{cv} \leq 0,10$, niz se može smatrati dovoljno dugim za korištenje (Žugaj, 2015).

Uz isti kriterij ($\sigma_{cv} \leq 0,10$) može se koristiti nešto pouzdanija Kricky-Menkelova formula:

$$\sigma_{cv} = \frac{c_v}{\sqrt{2(n-1)}} \sqrt{1 + 3c_v^2} \quad (2-2)$$

gdje je c_v koeficijent varijacije, a n broj članova niza (Žugaj, 2015).

2.1. Osnovni statistički parametri

U ovom potpoglavlju navedeni su sljedeći statistički parametri koji se najčešće rabe u hidrologiji, a koji su korišteni i prilikom provedbe izračuna u ovom diplomskom radu:

1. Prosjek ili aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-3)$$

gdje je n broj članova niza, a x_i je i -ti član niza.

2. Standardno odstupanje ili standardna devijacija:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-4)$$

gdje je n broj članova niza, x_i je i -ti član niza, a $\bar{x}$ je aritmetička sredina.

3. Koeficijent varijacije:

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (2-5)$$

gdje je σ standardna devijacija, a $\bar{x}$ je aritmetička sredina.

4. Koeficijent asimetrije:

$$c_s = \frac{m_3}{\sigma^3} \quad (2-6)$$

gdje je σ standardna devijacija, a m_3 je moment trećeg reda:

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^3 \quad (2-7)$$

Vrijednosti koeficijenta asimetrije mogu biti pozitivne i negativne. Na temelju njegovih apsolutnih vrijednosti ocjenjuje se asimetričnost raspodjele (Žugaj, 2015).

2.2. Wilcoxonov test rangiranja

Pri uspoređivanju dvaju hidroloških nizova iz različitih razdoblja, korisnu informaciju daje podatak čine li razmatrani nizovi iz različitih razdoblja homogen niz. Za ispitivanje homogenosti pogodan je, zbog svoje objektivnosti i jednostavnosti, Wilcoxonov neparametarski test (test rangiranja), koji je korišten u obradi podataka u ovom diplomskom radu. Kada se ispituje homogenost, potrebno je utvrditi razlog ispitivanja, odnosno podijeliti osnovni niz na originalni i modificirani. Najčešći razlozi su promjene u vodnom režimu ili postojanje sustavne pogreške pri određivanju protoka.

Osnovne pretpostavke za provedbu navedenog testa su:

- članovi osnovnih skupova međusobno su neovisni,
- rasporedi osnovnih skupova su neprekinuti,
- oblici rasporeda skupova su nepoznati.

Prilikom primjene ovog testa, oblici rasporeda razmatranih skupova ne pretpostavljaju se unaprijed. U tome je praktična prednost ove metode u odnosu na većinu klasičnih metoda parametarskih testiranja homogenosti, koje polaze od pretpostavke da je razmatrana varijabla ili normalno raspoređena ili prati neku drugu raspodjelu s poznatim parametrima.

Osnovni skupovi – originalni, s n_1 članova i modificirani s n_2 članova izdvajaju se iz ukupnog skupa od $n = n_1 + n_2$ članova. Dokazano je da suma rangova modificiranog niza velikih skupova slijedi normalnu raspodjelu, a takva aproksimacija je prihvatljiva kada su n_1 i n_2 veći od 7.

Tema diplomskog rada je analiza i usporedba trendova i homogenosti nizova godišnjih protoka s hidroloških stanica rijeke Save i Krapine, koja je provedena pomoću Wilcoxonovog testa rangova uz uvažavanje razine povjerenja $\alpha = 0,05$. Donja i gornja granica nulte pretpostavke, odnosno pretpostavke da nema značajnih promjena u podacima, određuje se prema formuli:

$$\left(U_{1/2\alpha} = -1,96 \right) \leq U_0 \leq \left(U_{1-1/2\alpha} = +1,96 \right) \quad (2-8)$$

gdje je U_0 vrijednost opaženoga standardnog jediničnog odstupanja. Iz navedenoga zaključujemo, ako se vrijednosti opaženoga standardnog jediničnog odstupanja U_0 nalazi

unutar donje i gornje granice $\pm 1,96$, može se s vjerojatnošću većom od 95% usvojiti da je niz homogen. Ukoliko je vrijednost U_0 izvan granica $\pm 1,96$, vjerojatnost za prihvatanje nulte pretpostavke je manja od 95% i niz je prema usvojenom kriteriju, nehomogen (Marković, 1971).

Vrijednost opaženoga standardnog jediničnog odstupanja U_0 dana je prema izrazu:

$$U_0 = \frac{S_0 - E_{(s)}}{\sigma_s} \quad (2-9)$$

gdje je $E_{(s)}$ očekivana vrijednost sume rangova modificiranog niza:

$$E_{(s)} = \frac{n_2(n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (2-10)$$

n_1 je broj članova originalnog niza, a n_2 broj članova modificiranog niza.

Standardno odstupanje sume rangova modificiranog niza σ_s iznosi:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (2-11)$$

Suma rangova modificiranog niza S_0 iznosi:

$$S_0 = \sum_{j=1}^{n_2} k_j \quad (2-12)$$

gdje je k_j rang člana modificiranog niza kada se članovi modificiranog i originalnog niza poredaju po veličini (Žugaj, 2015).

2.3. Hidrološki i meteorološki podaci

2.3.1. Kišomjerne stanice

Kišomjerne stanice su meteorološke stanice na kojima honorarni motritelji obavljaju mjerenje količine oborine (npr. kiše, zrna tuče, magle, snijega) i visine snježnog pokrivača. Motritelj će uz mjerenje količine oborine odrediti i zapisati u kojem se obliku oborina javila (kiša, snijeg, tuča, i tako dalje), kojim intenzitetom (slaba, umjerena, jaka) i koliko je oborina trajala (vrijeme prve pojave do potpunog prestanka). Osim toga, bilježe se i druge vrlo značajne pojave poput magle, grmljavine, olujnog vjetrova ili snježnog pokrivača. Količina oborine mjeri se svakodnevno u 7 sati po službenom (srednjoeuropskom, SEV) vremenu. Taj podatak predstavlja ukupnu količinu oborine u protekla 24 sata, odnosno od 7 sati jučer do 7 sati danas.

Za mjerenje količine oborine služi osnovni instrument, Hellmannov kišomjer s menzurom, prikazan na slici (Slika 2.1). Uz tekuće oborine, kišomjerom se mjeri i kruta oborina (snijeg, tuča, ledena zrna i slično) tako da se cijeli kišomjer unese u zatvorenu prostoriju u kojoj će se kruta oborina otopiti i potom izmjeriti menzurom. Svakako, na njegovo se mjesto postavlja drugi (rezervni).

Mjerenje ukupne visine snježnog pokrivača i visine novog snijega obavlja se svakog dana (sve dok je više od polovice tla prekriveno snijegom) u 7 sati SEV bez obzira je li od zadnjeg mjerenja padao snijeg ili ne. Za mjerenje visine ukupnog snijega služi pokretna snjegomjerna letva čija je skala podijeljena na cijele centimetre, a za visinu novog snijega četverokutna daska veličine 50 cm x 50 cm. Oba instrumenta su postavljena na mjesto određeno pri uspostavljanju kišomjerne stanice vodeći se uputama i preporukama Svjetske meteorološke organizacije (WMO).

Svi se podaci zapisuju u mjesečni kišomjerni izvještaj koji se istekom mjeseca dostavlja u Državni hidrometeorološki zavod gdje se podaci obrađuju, kontroliraju i arhiviraju (DHMZ).



Slika 2.1 Kišomjerna stanica u Jaškovu u blizini grada Ozlja (DHMZ)

U svrhu izračuna i usporedbe godišnjeg hoda oborina koje su pale na slivno područje rijeke Save korišteni su podaci s tri kišomjerne stanice: Brdovec, Donja Pušća i Marija Gorica. Primjer kišomjerne stanice prikazan je na slici (Slika 2.1). Godišnji hod oborine predstavlja niz od 12 uzastopnih mjesečnih količina. Imena kišomjernih stanica dana su po istoimenim općinama u kojima se nalaze. Podaci su dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda. Koordinatni položaj kišomjernih stanica čiji su podaci korišteni u ovom radu prikazan je u tablici 2-1. Količina oborina mjeri se u mm, a 1 mm predstavlja 1 litru po metru kvadratnom.

Tablica 2-1 Kišomjerne stanice (DHMZ)

Naziv stanice	G. širina	G. dužina	Visina
BRDOVEC	45° 52' N	15° 47' E	133 m
DONJA PUŠĆA	45° 54' N	15° 46' E	159 m
MARIJA GORICA	45° 54' N	15° 43' E	260 m

2.3.2. Hidrološke stanice

Osnovni hidrološki podaci nastaju mjerenjima i opažanjima na hidrološkim stanicama mreže površinskih i mreže podzemnih voda na prostoru Republike Hrvatske. Naknadnim proračunima mogu nastati neki izvedeni hidrološki podaci (npr. pronos nanosa, kao umnožak koncentracije i protoka).

Mreža stanica površinskih voda obuhvaća preko 450 aktivnih hidroloških stanica, a raspoloživi podaci mogu biti:

- vodostaji (dnevne ili satne vrijednosti)
- proračunati protoci (dnevne ili satne vrijednosti)
- krivulje protoka
- rezultati vodomjerenja (izmjereni protok)
- temperature vode (dnevne ili satne vrijednosti)
- koncentracije suspendiranog nanosa (dnevne vrijednosti)
- pronosi suspendiranog nanosa (dnevne vrijednosti)
- rezultati snimanja poprečnih presjeka korita (DHMZ).

Kao što je prethodno spomenuto za uspoređivanje dvaju hidroloških nizova iz različitih razdoblja, korisnu informaciju daje podatak čine li razmatrani nizovi iz različitih razdoblja homogen niz. Za ispitivanje homogenosti korišten je Wilcoxonov test rangiranja. Test je primijenjen na podacima s dvije hidrološke stanice: Podsused žičara na rijeci Savi i Kupljenovo na rijeci Krapini (Slika 1.1).

Testirano je kako se podaci iz takozvanog modificiranog niza, uklapaju u ukupan niz protoka. Cilj je bio utvrditi točnu godinu promjene u režimu otjecanja na razmatranom području te ustanoviti da li je ta promjena isključivo klimatološki uvjetovana. Smatra se da su promjene u hidrološkim nizovima podataka na području Hrvatske, nastupile osamdesetih godina dvadesetoga stoljeća (Pavlić, 2016). Usporedbom Wilcoxonovog testa rangiranja između hidrološke stanice Podsused žičara na Savi i hidrološke stanice Kupljenovo na Krapini nastojat će se ustvrditi i ljudski utjecaj na promjenu režima otjecanja zbog gradnje akumulacija na rijeci Savi.

Diagram illustrating the relationship between rainfall intensity (i) and discharge (Q) over time (T).

The top graph shows rainfall intensity (i in mm/sat) versus time (T in sati). The duration of rainfall is T_k . The effective rainfall duration is $T_k/2$. The area under the curve is labeled "efektivna kiša".

The bottom graph shows discharge (Q in m³/s) versus time (T in sati). The peak discharge is Q_{max} . The time from the start of effective rainfall to the peak is t_p . The time from the peak to the end of the hydrograph is t_r . The total time base of the hydrograph is T_b . The time from the start of effective rainfall to the centroid of the hydrograph is t'_p .

Legend:

- t_k trajanje kiše
- T_k trajanje efektivne kiše
- t_p vrijeme zakašnjenja
- Q_{max} vršni (maksimalni) protok
- T_b vremenska baza hidrograma
- T_p vrijeme podizanja hidrograma
- T_r vrijeme recesije (opadanja) hidrograma
- t'_p vrijeme zakašnjenja (razmak od težišta hijetograma do težišta hidrograma)

3. REZULTATI

3.1. Rezultati s hidroloških stanica

Provedeno je 13 ispitivanja Wilcoxonovog testa rangiranja za različite modificirane nizove na stanici Podsused žičara (Sava) te 11 ispitivanja na stanici Kupljenovo (Krapina). Međutim, prikazani će biti samo izračuni testa rangiranja minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara za modificirani niz od 1981. – 2018. godine. Izračun Wilcoxonovog testa rangiranja srednjih godišnjih protoka, na hidrološkoj stanici Podsused žičara, kojim je utvrđena godina promjene vodnog režima u Savi, prikazan je u tablici 3-7. Prilikom testiranja korištene su srednje vrijednosti protoka koje su dobivene od Državnog hidrometeorološkog zavoda. Maksimalni i minimalni nizovi godišnjih protoka prikazani su samo za prvi niz srednjih godišnjih protoka koji je nehomogen, zbog toga što taj niz predstavlja početak promjena u režimu otjecanja. Postupak je proveden na objema hidrološkim stanicama. Program u kojem se provodio test je MS Excel.

Ispitivanja duljine nizova je važna stavka prilikom obrade podataka za dobivanje pouzdanih rezultata. Duljina nizova podataka, u ovom diplomskom radu, ispitana je na osnovi veličine pogreške koeficijenta varijacije (σ_{cv}) prema formuli (2-1). Ukoliko je $\sigma_{cv} \leq 0,10$, niz se može smatrati dovoljno dugim za korištenje.

Kod originalnog niza srednjih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara, koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednosti od 0,16 do 0,18, a pogreške koeficijenta varijacije su manje od $\sigma_{cv} = 0,10$, iz čega slijedi da navedeni niz nije prekratak.

Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije (σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara (Sava) prikazane su u tablicama 3-1 i 3-2.

Tablica 3-1 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije (σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara za originalni niz

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Originalni niz	Broj članova niza n	c_v	σ_{cv}
Sava	Sava	Podsused žičara	1964. - 1979.	16	0,16	0,03
			1964. - 1980.	17	0,16	0,03
			1964. - 1981.	18	0,16	0,03
			1964. - 1982.	19	0,16	0,03
			1964. - 1983.	20	0,18	0,03
			1964. - 1984.	21	0,17	0,03
			1964. - 1985.	22	0,17	0,03
			1964. - 1986.	23	0,17	0,03
			1964. - 1987.	24	0,17	0,03
			1964. - 1988.	25	0,17	0,03
			1964. - 1989.	26	0,17	0,02

Modificirani niz srednjih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara ima vrijednosti koeficijenta varijacije (c_v) od 0,21 do 0,22, a pogreške koeficijenta varijacije su manje od $\sigma_{cv} = 0,10$, iz čega se može zaključiti da modificirani niz nije prekratak.

Tablica 3-2 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije (σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara za modificirani niz

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Modificirani niz	Broj članova niza n	c_v	σ_{cv}
Sava	Sava	Podsused žičara	1980. - 2018.	39	0,21	0,03
			1981. - 2018.	38	0,21	0,03
			1982. - 2018.	37	0,21	0,03
			1983. - 2018.	36	0,21	0,03
			1984. - 2018.	35	0,21	0,03
			1985. - 2018.	34	0,21	0,03
			1986. - 2018.	33	0,21	0,03
			1987. - 2018.	32	0,22	0,03
			1988. - 2018.	31	0,22	0,03
			1989. - 2018.	30	0,22	0,03
			1990. - 2018.	29	0,22	0,03

Kod originalnog niza srednjih godišnjih protoka na stanici Kupljenovo, koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednosti od 0,28 do 0,33, a pogreške koeficijenta varijacije su manje od $\sigma_{cv} = 0,10$, iz čega slijedi da navedeni niz nije prekratak.

Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije (σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo (Krapina) prikazane su u tablicama 3-3 i 3-4.

Tablica 3-3 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije (σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo za originalni niz

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Originalni niz	Broj članova niza n	Cv	σ_{cv}
Sava	Krapina	Kupljenovo	1964. - 1979.	16	0,33	0,06
			1964. - 1980.	17	0,33	0,06
			1964. - 1981.	18	0,32	0,06
			1964. - 1982.	19	0,31	0,06
			1964. - 1983.	20	0,32	0,06
			1964. - 1984.	21	0,31	0,05
			1964. - 1985.	22	0,30	0,05
			1964. - 1986.	23	0,29	0,05
			1964. - 1987.	24	0,29	0,05
			1964. - 1988.	25	0,29	0,04
			1964. - 1989.	26	0,28	0,04

Kod srednjih godišnjih protoka, na hidrološkoj stanici Kupljenovo, duljina niza je dovoljno duga kod originalnog kao i kod modificiranog niza, zato što su pogreške koeficijenta varijacije manje od 0,10. Koeficijent varijacije (σ_{cv}) ima vrijednosti od 0,28 do 0,33 kod originalnog niza, dok kod modificiranog niza te vrijednosti iznose od 0,32 do 0,35.

Tablica 3-4 Vrijednosti pogrešaka koeficijenta varijacije (σ_{cv}) srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo za modificirani niz

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Modificirani niz	Broj članova niza n	Cv	σ_{cv}
Sava	Krapina	Kupljenovo	1980. - 2018.	39	0,32	0,04
			1981. - 2018.	38	0,32	0,04
			1982. - 2018.	37	0,32	0,04
			1983. - 2018.	36	0,33	0,04
			1984. - 2018.	35	0,33	0,04
			1985. - 2018.	34	0,33	0,04
			1986. - 2018.	33	0,33	0,04
			1987. - 2018.	32	0,34	0,05
			1988. - 2018.	31	0,34	0,05
			1989. - 2018.	30	0,35	0,05
			1990. - 2018.	29	0,35	0,05

Rezultati ispitivanja homogenosti za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara (Sava) prikazani su u tablici 3-5.

Za ukupni niz se uzimalo razdoblje od 1964. do 2018. godine. Od 11 razmatranih nizova, njih 9 je nehomogeno dok su 2 homogena. Prvi modificirani niz koji je nehomogen je niz iz razdoblja od 1981. do 2018. godine zbog čega se 1981. godina smatra kao početak promjene u režimu otjecanja na rijeci Savi.

Tablica 3-5 Rezultati ispitivanja homogenosti za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Podsused žičara (Sava)

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Ukupni niz	Modificirani niz	U	Homogenost
Sava	Sava	Podsused žičara	1964. - 2018.	1980. - 2018.	1,82	homogen
			1964. - 2018.	1981. - 2018.	2,70	nehomogen
			1964. - 2018.	1982. - 2018.	2,44	nehomogen
			1964. - 2018.	1983. - 2018.	2,48	nehomogen
			1964. - 2018.	1984. - 2018.	2,01	nehomogen
			1964. - 2018.	1985. - 2018.	2,13	nehomogen
			1964. - 2018.	1986. - 2018.	2,32	nehomogen
			1964. - 2018.	1987. - 2018.	2,25	nehomogen
			1964. - 2018.	1988. - 2018.	2,43	nehomogen
			1964. - 2018.	1989. - 2018.	2,10	nehomogen
			1964. - 2018.	1990. - 2018.	1,74	homogen

Rezultati ispitivanja homogenosti za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Kupljenovo (Krapina) prikazani su u tablici 3-6.

Ukupni niz činilo je razdoblje od 1964. do 2018. godine. Od 11 razmatranih nizova svi su homogeni. Rezultati ispitivanja homogenosti na rijeci Krapini nam s klimatološkog aspekta ukazuju da nije bilo promjena u režimu otjecanja na razmatranom području istraživanja.

Tablica 3-6 Rezultati ispitivanja homogenosti za nizove srednjih godišnjih protoka na stanici Kupljenovo (Krapina)

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Ukupni niz	Modificirani niz	U	Homogenost
Sava	Krapina	Kupljenovo	1964. - 2018.	1980. - 2018.	0,70	homogen
			1964. - 2018.	1981. - 2018.	1,13	homogen
			1964. - 2018.	1982. - 2018.	1,31	homogen
			1964. - 2018.	1983. - 2018.	1,40	homogen
			1964. - 2018.	1984. - 2018.	1,07	homogen
			1964. - 2018.	1985. - 2018.	1,30	homogen
			1964. - 2018.	1986. - 2018.	1,51	homogen
			1964. - 2018.	1987. - 2018.	1,67	homogen
			1964. - 2018.	1988. - 2018.	1,93	homogen
			1964. - 2018.	1989. - 2018.	1,79	homogen
			1964. - 2018.	1990. - 2018.	1,80	homogen

Podaci u razdoblju od 1964. do 2018. godine s hidrološke stanice Podsused žičara, predstavljaju ukupni niz te su podijeljeni u dva niza: originalni i modificirani niz. Zbroj članova originalnog i modificiranog niza čini ukupni niz. Izračun Wilcoxonovog testa rangiranja srednjih godišnjih protoka, na hidrološkoj stanici Podsused žičara, prikazan je u prilogu 1/3.

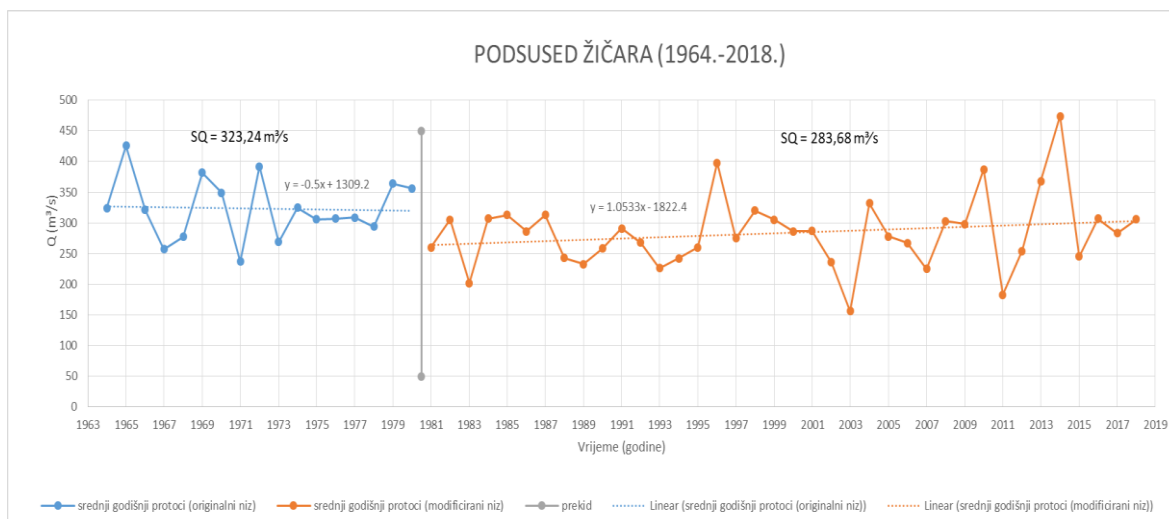
Originalni niz se sastoji od 17 članova. Tih 17 članova čine vrijednosti srednjih godišnjih protoka u vremenskom periodu od 1964. do 1980. Od osnovnih statističkih parametara izračunati su aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije. Aritmetička sredina (S_Q) za originalni niz iznosi $323,24 \text{ m}^3/\text{s}$, a standardna devijacija (σ) iznosi $50,42 \text{ m}^3/\text{s}$. Omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine dobije se koeficijent varijacije (c_v) koji iznosi 0,16. Koeficijent asimetrije (c_s) iznosi 0,28. Maksimalna vrijednost, srednjih godišnjih protoka, za originalni niz iznosi $426 \text{ m}^3/\text{s}$ te je zabilježena 1965. godine. Minimalna vrijednost, srednjih godišnjih protoka originalnog niza, iznosi $237 \text{ m}^3/\text{s}$ i zabilježena je 1971. godine.

Modificirani niz uključuje 38 članova koji označavaju vrijednosti srednjih godišnjih protoka u vremenskom periodu od 1981. do 2018. Aritmetička sredina (S_Q) za modificirani niz iznosi $283,68 \text{ m}^3/\text{s}$, a standardna devijacija (σ) iznosi $58,93 \text{ m}^3/\text{s}$. Omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine dobije se koeficijent varijacije (c_v) koji iznosi 0,21. Koeficijent asimetrije (c_s) iznosi 0,28. Maksimalna vrijednost, srednjih godišnjih protoka, za modificirani niz iznosi $474 \text{ m}^3/\text{s}$ te je zabilježena 2014. godine. Minimalna vrijednost srednjih godišnjih protoka iznosi $156 \text{ m}^3/\text{s}$ i zabilježena je 2003. godine.

Suma rangova modificiranog niza $E_{(s)}$ iznosi 1.064. Standardno odstupanje sume rangova modificiranog niza σ_s iznosi 54,91. Suma rangova modificiranog niza S_o iznosi 1.212. Na temelju izraza (2-9) opaženo standardno jedinično odstupanje U_o iznosi 2,70. Pošto je vrijednost U_o izvan granica $\pm 1,96$, može se prema usvojenom kriteriju ustvrditi da je niz nehomogen.

Na hidrogramu je vidljiva promjena trenda. Srednji godišnji protoci u prvom razdoblju (1964.-1980.) imaju padajući trend, a u drugom razdoblju rastući trend (1981.-2018.) na hidrološkoj stanici Podsused žičara.

Rezultati ispitivanja trendova srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara prikazani su grafički pomoću hidrograma na slici 3.1.



Slika 3.1 Hidrogram srednjih godišnjih protoka u razdobljima (1964. – 1980.) i (1981. – 2018)

Izračun Wilcoxonovog testa rangiranja maksimalnih godišnjih protoka, na hidrološkoj stanici Podsused žičara, prikazan je u prilogu 2/3. Podaci maksimalnih godišnjih protoka podijeljeni su u originalni niz (1964. – 1980.) i modificirani niz (1981. – 2018.) prilikom provedbe testiranja. Zbroj članova originalnog i modificiranog niza čini ukupni niz.

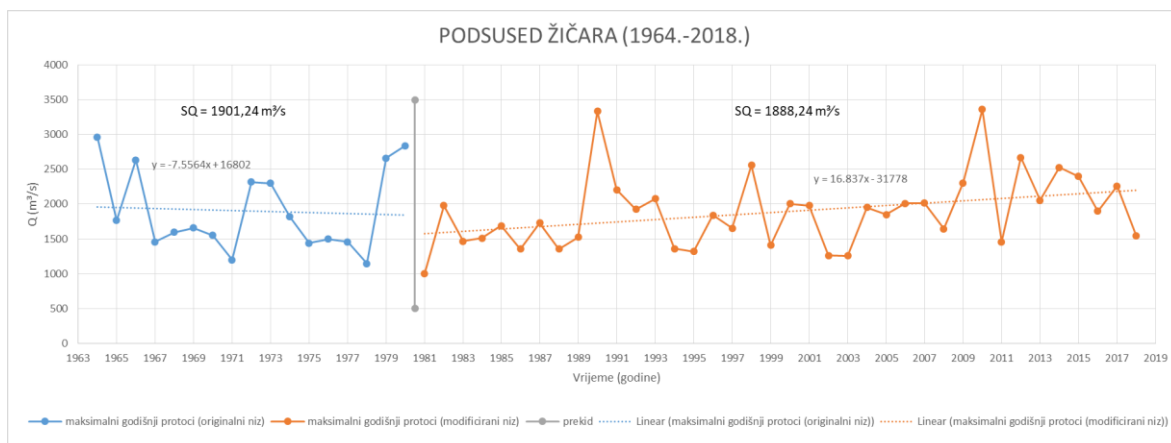
Originalni niz se sastoji od 17 članova. Tih 17 članova čine vrijednosti maksimalnih godišnjih protoka u vremenskom periodu od 1964. do 1980. Od osnovnih statističkih parametara izračunati su aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije. Aritmetička sredina (SQ) za originalni niz iznosi $1.901,24 \text{ m}^3/\text{s}$, a standardna devijacija (σ) iznosi $590,77 \text{ m}^3/\text{s}$. Omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine dobije se koeficijent varijacije (c_v) koji iznosi 0,31. Koeficijent asimetrije (c_s) iznosi 0,62. Maksimalna vrijednost, maksimalnih godišnjih protoka, za originalni niz iznosi $2.965 \text{ m}^3/\text{s}$ te je zabilježena 1964. godine. Minimalna vrijednost, maksimalnih godišnjih protoka originalnog niza, iznosi $1.148 \text{ m}^3/\text{s}$ i zabilježena je 1978. godine.

Modificirani niz uključuje 38 članova koji označavaju vrijednosti srednjih godišnjih protoka u vremenskom periodu od 1981. do 2018. Aritmetička sredina (SQ) za modificirani niz iznosi $1.888,24 \text{ m}^3/\text{s}$, a standardna devijacija (σ) iznosi $530,58 \text{ m}^3/\text{s}$. Omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine dobije se koeficijent varijacije (c_v) koji iznosi 0,28. Koeficijent asimetrije (c_s) iznosi 1,01. Maksimalna vrijednost, maksimalnih godišnjih protoka, za modificirani niz iznosi $3.360 \text{ m}^3/\text{s}$ te je zabilježena 2010. godine. Minimalna vrijednost, maksimalnih godišnjih protoka modificiranog niza, iznosi $1.005 \text{ m}^3/\text{s}$ i zabilježena je 1981. godine.

Suma rangova modificiranog niza $E_{(s)}$ iznosi 1.064. Standardno odstupanje sume rangova modificiranog niza σ_s iznosi 54,91. Suma rangova modificiranog niza S_0 iznosi 1.059. Na temelju izraza (2-9) opaženo standardno jedinično odstupanje iznosi $U_0 = -0,09$. Pošto je vrijednost U_0 unutar granica $\pm 1,96$, može se prema usvojenom kriteriju ustvrditi da je niz homogen.

Na hidrogramu je vidljiva veća promjena trenda nego kod srednjih godišnjih protoka. Maksimalni godišnji protoci u prvom razdoblju (1964.-1980.) imaju padajući trend, a u drugom razdoblju rastući trend (1981.-2018.) na hidrološkoj stanici Podsused žičara.

Rezultati ispitivanja trendova maksimalnih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara prikazani su grafički pomoću hidrograma na slici 3.2.



Slika 3.2 Hidrogram maksimalnih godišnjih protoka u razdobljima (1964. – 1980.) i (1981. – 2018)

Izračun Wilcoxonovog testa rangiranja minimalnih godišnjih protoka, na hidrološkoj stanici Podsused žičara, prikazan je u prilogu 3/3. Podaci minimalnih godišnjih protoka podijeljeni su u originalni niz (1964. – 1980.) i modificirani niz (1981. – 2018.) prilikom provedbe testiranja. Zbroj članova originalnog i modificiranog niza čini ukupni niz.

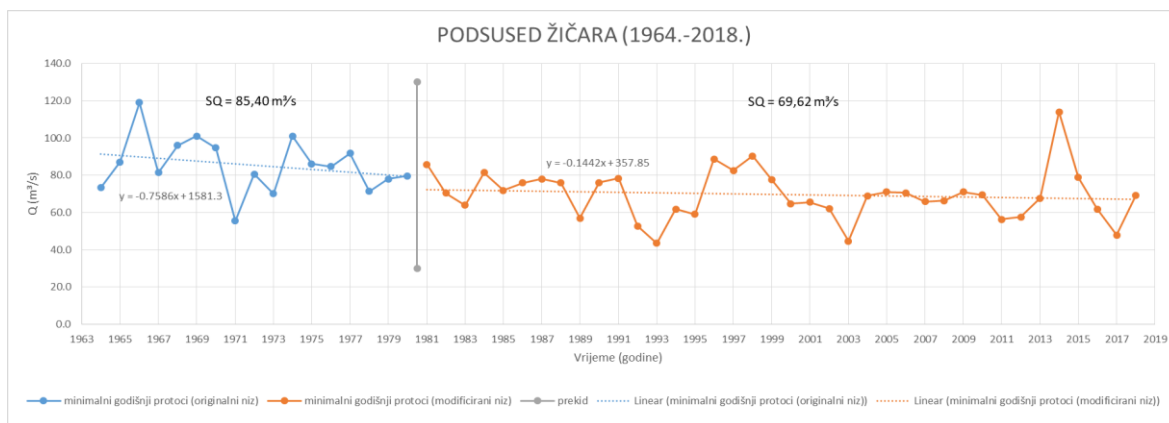
Originalni niz se sastoji od 17 članova. Tih 17 članova čine vrijednosti minimalnih godišnjih protoka u vremenskom periodu od 1964. do 1980. Od osnovnih statističkih parametara izračunati su aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije. Aritmetička sredina (S_Q) za originalni niz iznosi $85,40 \text{ m}^3/\text{s}$, a standardna devijacija (σ) iznosi $14,67 \text{ m}^3/\text{s}$. Omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine dobije se koeficijent varijacije (c_v) koji iznosi 0,17. Koeficijent asimetrije (c_s) iznosi 0,28. Maksimalna vrijednost, minimalnih godišnjih protoka, za originalni niz iznosi $119 \text{ m}^3/\text{s}$ te je zabilježena 1966. godine. Minimalna vrijednost, minimalnih godišnjih protoka originalnog niza, iznosi $55,6 \text{ m}^3/\text{s}$ i zabilježena je 1971. godine.

Modificirani niz uključuje 38 članova koji označavaju vrijednosti minimalnih godišnjih protoka u vremenskom periodu od 1981. do 2018. Aritmetička sredina (S_Q) za modificirani niz iznosi $69,62 \text{ m}^3/\text{s}$, a standardna devijacija (σ) iznosi $13,44 \text{ m}^3/\text{s}$. Omjerom standardne devijacije i aritmetičke sredine dobije se koeficijent varijacije (c_v) koji iznosi 0,19. Koeficijent asimetrije (c_s) iznosi 0,68. Maksimalna vrijednost, minimalnih godišnjih protoka, za modificirani niz iznosi $114 \text{ m}^3/\text{s}$ te je zabilježena 2014. godine. Minimalna vrijednost, minimalnih godišnjih protoka, iznosi $43,6 \text{ m}^3/\text{s}$ i zabilježena je 1993. godine.

Suma rangova modificiranog niza $E_{(s)}$ iznosi 1.064. Standardno odstupanje sume rangova modificiranog niza σ_s iznosi 54,91. Suma rangova modificiranog niza S_0 iznosi 1.268. Na temelju izraza (2-9) opaženo standardno jedinično odstupanje U_0 iznosi 3,72. Pošto je vrijednost U_0 izvan granica $\pm 1,96$, može se prema usvojenom kriteriju ustvrditi da je niz nehomogen.

Minimalni godišnji protoci u prvom razdoblju (1964. – 1980.) imaju padajući trend, kao i u drugom razdoblju (1981. – 2018.) na hidrološkoj stanici Podsused žičara. Opadajući trend kod modificiranog niza je slabije izražen nego kod originalnog niza minimalnih godišnjih protoka.

Rezultati ispitivanja trendova minimalnih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara prikazani su grafički pomoću hidrograma na slici 3.3.



Slika 3.3 Hidrogram minimalnih godišnjih protoka u razdobljima (1964. – 1980.) i (1981. – 2018)

Na hidrološkoj stanici Podsused žičara (Sava) svi originalni nizovi imaju padajući trend, dok modificirani nizovi imaju rastući trend.

U tablici 3-7 prikazani su rezultati ispitivanja trendova srednjih godišnjih protoka za sve ispitane vremenske nizove na hidrološkoj stanici Podsused žičara.

Tablica 3-7 Trendovi srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara (Sava)

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Originalni niz	Trend	Modificirani niz	Trend
Sava	Sava	Podsused žičara	1964. - 1979.	padajući	1980. - 2018.	rastući
			1964. - 1980.	padajući	1981. - 2018.	rastući
			1964. - 1981.	padajući	1982. - 2018.	rastući
			1964. - 1982.	padajući	1983. - 2018.	rastući
			1964. - 1983.	padajući	1984. - 2018.	rastući
			1964. - 1984.	padajući	1985. - 2018.	rastući
			1964. - 1985.	padajući	1986. - 2018.	rastući
			1964. - 1986.	padajući	1987. - 2018.	rastući
			1964. - 1987.	padajući	1988. - 2018.	rastući
			1964. - 1988.	padajući	1989. - 2018.	rastući
			1964. - 1989.	padajući	1990. - 2018.	rastući

U tablici 3-8 prikazani su rezultati ispitivanja trendova srednjih godišnjih protoka za sve ispitane vremenske nizove na hidrološkoj stanici Kupljenovo.

Tablica 3-8 Trendovi srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Kupljenovo
(Krapina)

Sliv	Vodotok	Hidrološka stanica	Originalni niz	Trend	Modificirani niz	Trend
Sava	Krapina	Kupljenovo	1964. - 1979.	padajući	1980. - 2018.	padajući
			1964. - 1980.	padajući	1981. - 2018.	padajući
			1964. - 1981.	padajući	1982. - 2018.	padajući
			1964. - 1982.	padajući	1983. - 2018.	padajući
			1964. - 1983.	padajući	1984. - 2018.	padajući
			1964. - 1984.	padajući	1985. - 2018.	padajući
			1964. - 1985.	padajući	1986. - 2018.	padajući
			1964. - 1986.	padajući	1987. - 2018.	rastući
			1964. - 1987.	padajući	1988. - 2018.	rastući
			1964. - 1988.	padajući	1989. - 2018.	rastući
			1964. - 1989.	padajući	1990. - 2018.	rastući

Kod hidrološke stanice Kupljenovo (Krapina) svi originalni nizovi imaju padajući trend. Kod modificiranih nizovi njih sedam ima padajući trend dok ostala četiri niza imaju rastući trend.

3.2. Rezultati s kišomjernih stanica

Podaci srednjih mjesečnih količina oborina dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda. Srednje godišnje količine oborina su izračunate pomoću programa MS Excel kao i ostali statistički parametri te grafovi godišnjeg hoda oborina. Podaci su prikupljeni s tri kišomjerne stanice: Brdovec, Donja Pušća i Marija Gorica. Nedostatak mjerenja u pojedinim mjesecima od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda, rezultirao je da određeni podaci srednjih godišnjih količina oborina nedostaju. Zbog toga su podaci, radi veće pouzdanosti prilikom interpretacije, podijeljeni u dva niza na kišomjernim stanicama Donja Pušća i Marija Gorica. Na kišomjernoj stanici Brdovec zbog velike isprekidanosti podataka je izdvojen samo jedan niz. Od osnovnih statističkih parametara izračunati su: aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije, koeficijent asimetrije te minimum i maksimum vrijednosti.

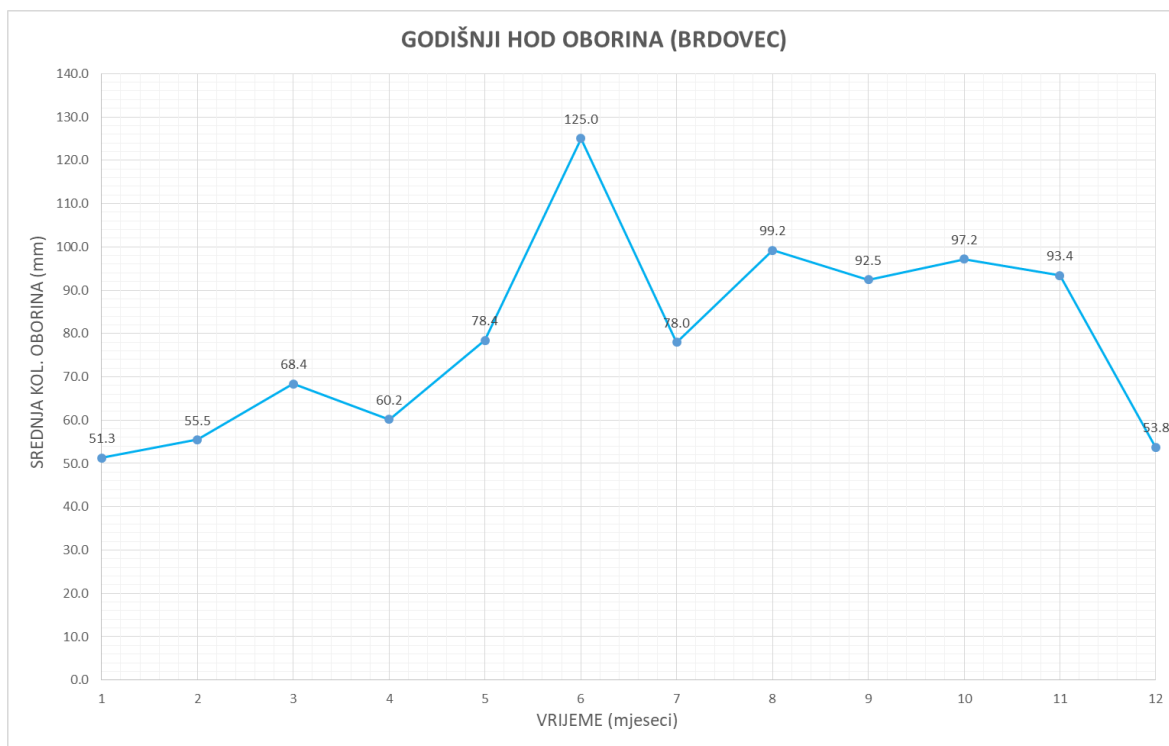
Vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici Brdovec prikazani su u tablici 3-9. Ukupni niz podataka se nalazi u razdoblju od 1960. do 2018. godine, međutim zbog isprekidanosti podataka izdvojen je niz od 1999. do 2014. godine za koji su izračunati osnovni statistički parametri.

Izdvojeni niz na stanici Brdovec (NIZ 1) sastoji se od 16 članova. Aritmetička sredina niza ($\bar{x}$) iznosi 84,67 mm. Drugi izračunati parametar je standardna devijacija (σ) koja iznosi 18,01 mm. Koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednost 0,21. Koeficijent asimetrije ima negativnu vrijednost $c_s = -0,38$. Minimalna vrijednost, srednjih godišnjih količina oborina, za izdvojeni niz iznosi 48,8 mm i dobivena je 2011. godine. Maksimalna vrijednost iznosi 116,46 mm i dobivena je 2014. godine.

Tablica 3-9 Prikaz vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici
Brdovec

BRDOVEC			
VRIJEME (godina)	UKUPNA GOD. KOL. OBORINA (mm)	SREDNJA GOD. KOL. OBORINA (mm)	OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI
1999	1167.9	97.33	
2000	862.6	71.88	
2001	1039.3	86.61	
2002	1081	90.08	
2003	654.1	54.51	NIZ 1
2004	1030.9	85.91	$n=16$
2005	1137.1	94.76	$x = 84,67 \text{ (mm)}$
2006	906.2	75.52	$\sigma = 18,01 \text{ m}^3/\text{s}$
2007	1097.7	91.48	$cv = 0,21$
2008	839.4	69.95	$cs = -0,38$
2009	910.4	75.87	$\min = 48,8 \text{ (mm)}$
2010	1277.3	106.44	$\max = 116,46 \text{ (mm)}$
2011	585.6	48.80	
2012	1048.1	87.34	
2013	1221.4	101.78	
2014	1397.5	116.46	

Na slici 3.4 prikazan je godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Brdovec. Godišnji hod oborina je grafikon koji predstavlja mjesečne vrijednosti. Na apscisi se nalazi 12 vrijednosti koje predstavljaju mjesece u godini, a na ordinati se nalaze srednje količine oborina koje se dobiju tako da se za svaki mjesec izračuna njegova srednja vrijednost (količine oborina) svih godina u nizu.



Slika 3.4 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Brdovec

Na temelju godišnjeg hoda oborina u razdoblju od 1999. do 2014. godine, može se ustanoviti da se maksimalna količina oborina javlja u lipnju i iznosi 125 mm. Minimalna količina oborina javlja se u siječnju i iznosi 51,3 mm.

Vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća prikazani su u tablici 3-10. Ukupni niz podataka se nalazi u razdoblju od 1960. do 2018. godine, međutim zbog isprekidanosti podataka izdvojena su dva niza. Prvi niz je od 1963. do 1986. godine, a drugi niz je od 1993. do 2009. godine te su za oba niza izračunati osnovni statistički parametri.

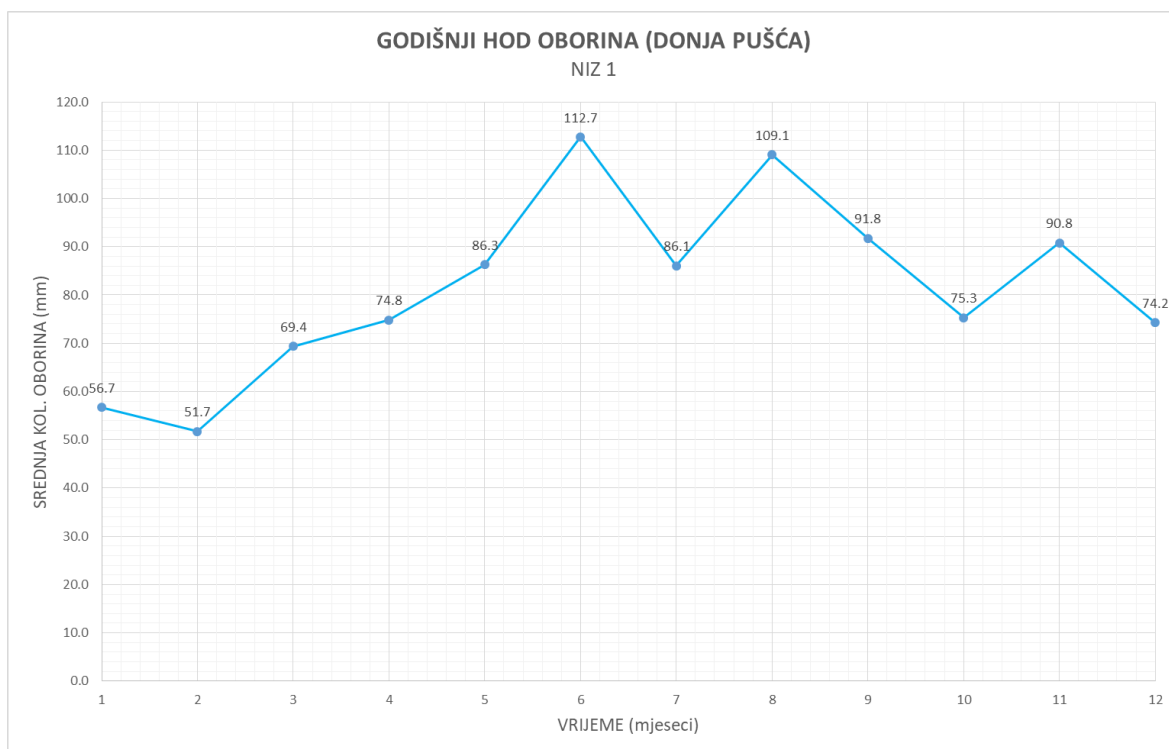
Prvi niz na kišomjernoj stanici Donja Pušća (NIZ 1) sastoji se od 24 člana. Aritmetička sredina niza ($\bar{x}$) iznosi 81,57 mm. Drugi izračunati parametar je standardna devijacija (σ) koja iznosi 12,22 m³/s. Koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednost 0,15. Koeficijent asimetrije ima negativnu vrijednost $c_s = -0,32$. Minimalna vrijednost, srednjih godišnjih količina oborina, za izdvojeni niz iznosi 59,53 mm i dobivena je 1973. godine. Maksimalna vrijednost iznosi 98,47 mm i dobivena je 1964. godine.

Drugi niz na kišomjernoj stanici Donja Pušća (NIZ 2) obuhvaća 17 članova. Aritmetička sredina niza ($\bar{x}$) iznosi 79,62 mm. Drugi izračunati parametar je standardna devijacija (σ) koja iznosi 12,99 m³/s. Koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednost 0,16. Koeficijent asimetrije ima negativnu vrijednost $c_s = -0,92$. Minimalna vrijednost, srednjih godišnjih količina oborina, za izdvojeni niz iznosi 48,53 mm i dobivena je 2003. godine. Maksimalna vrijednost iznosi 93,01 mm i dobivena je 2007. godine.

Tablica 3-10 Prikaz vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici
Donja Pušća

DONJA PUŠĆA			
VRIJEME (godina)	UKUPNA GOD. KOL. OBORINA (mm)	SREDNJA GOD. KOL. OBORINA (mm)	OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI
1963	1061.9	88.49	
1964	1181.6	98.47	
1965	1148.3	95.69	
1966	1145.2	95.43	
1967	838.0	69.83	
1968	814.3	67.86	
1969	1078.4	89.87	
1970	1081.3	90.11	
1971	821.8	68.48	NIZ 1
1972	1171.6	97.63	$n_1=24$
1973	714.4	59.53	$x = 81,57$ (mm)
1974	1001.2	83.43	$\sigma = 12,22$ m³/s
1975	765.3	63.78	$cv = 0,15$
1976	917.4	76.45	$cs = - 0,32$
1977	787.1	65.59	$min = 59,53$ (mm)
1978	776.5	64.71	$max = 98,47$ (mm)
1979	901.1	75.09	
1980	1094.0	91.17	
1981	1135.0	94.58	
1982	928.3	77.36	
1983	969.5	80.79	
1984	1066.2	88.85	
1985	1051.2	87.60	
1986	1043.0	86.92	
1987	**	**	
1988	854.6	71.22	
1989	1124.8	93.73	
1990	830.3	69.19	
1991	858.5	71.54	
1992	**	**	
1993	973.1	81.09	
1994	958.4	79.87	
1995	1098.6	91.55	
1996	1022.0	85.17	
1997	765.7	63.81	
1998	1078.8	89.90	NIZ 2
1999	1107.5	92.29	$n_2=17$
2000	775.3	64.61	$x = 79,62$ (mm)
2001	1097.2	91.43	$\sigma = 12,99$ m³/s
2002	1049.1	87.43	$cv = 0,16$
2003	582.3	48.53	$cs = - 0,92$
2004	963.4	80.28	$min = 48,53$ (mm)
2005	1113.1	92.76	$max = 93,01$ (mm)
2006	883.4	73.62	
2007	1116.1	93.01	
2008	805.4	67.12	
2009	853.3	71.11	

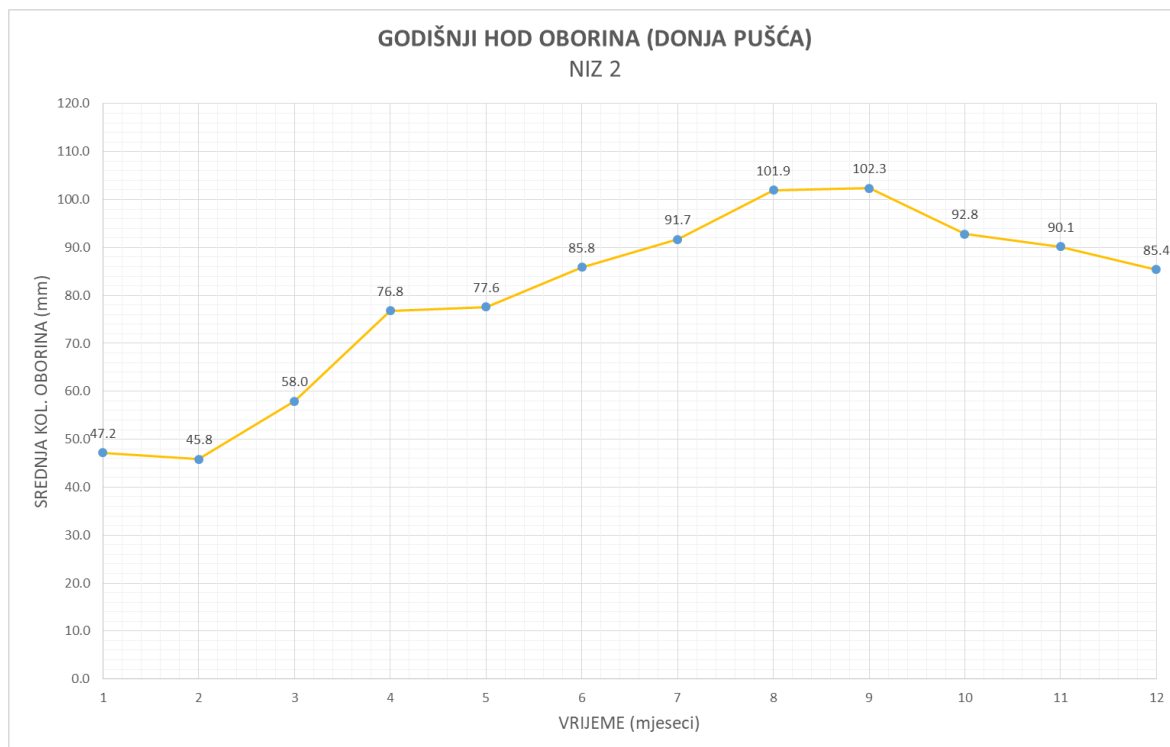
Na slici 3.5 prikazan je godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća za prvi niz. Godišnji hod oborina je grafikon koji predstavlja mjesečne vrijednosti. Na apscisi se nalazi 12 vrijednosti koje predstavljaju mjeseci u godini, a na ordinati se nalaze srednje količine oborina koje se dobiju tako da se za svaki mjesec izračuna njegova srednja vrijednost (količine oborina) svih godina u nizu.



Slika 3.5 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća (NIZ 1)

Na osnovu godišnjeg hoda oborina u razdoblju od 1963. do 1986. godine, može se ustanoviti da se maksimalna količina oborina javlja u lipnju i iznosi 112,7 mm. Minimalna količina oborina javlja se u veljači i iznosi 51,7 mm.

Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća za drugi niz prikazan je na slici (Slika 3.6).



Slika 3.6 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Donja Pušća (NIZ 2)

Na osnovu godišnjeg hoda oborina u razdoblju od 1993. do 2009. godine, može se ustanoviti da se maksimalna količina oborina javlja u rujnu i iznosi 102,3 mm. Minimalna količina oborina javlja se u veljači i iznosi 45,8 mm. U odnosu na prvi niz, maksimalne i minimalne vrijednosti količine oborina su manje u drugom nizu. Također, primjećujemo da su oscilacije u godišnjem hodu oborina više izražene u prvom nizu.

Vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica prikazani su u tablici 3-11. Ukupni niz podataka se nalazi u razdoblju od 1982. do 2018. godine, međutim zbog isprekidanosti podataka izdvojena su dva niza. Prvi niz je od 1983. do 1993. godine, a drugi niz je od 1996. do 2018. godine te su za oba niza izračunati osnovni statistički parametri.

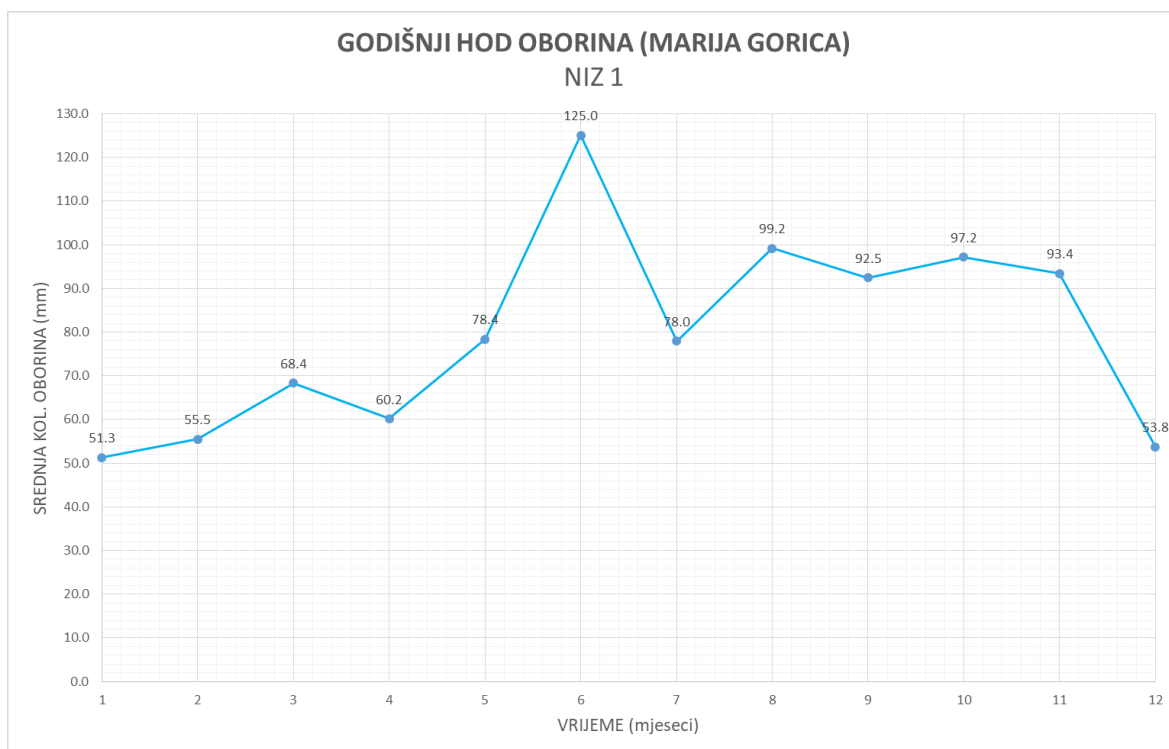
Prvi niz na kišomjernoj stanici Marija Gorica (NIZ 1) sastoji se od 11 članova. Aritmetička sredina niza ($\bar{x}$) iznosi 79,39 mm. Drugi izračunati parametar je standardna devijacija (σ) koja iznosi 6,79 m³/s. Koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednost 0,09. Koeficijent asimetrije ima vrijednost $c_s = 0,52$. Minimalna vrijednost, srednjih godišnjih količina oborina, za izdvojeni niz iznosi 71,52 mm i dobivena je 1988. godine. Maksimalna vrijednost iznosi 91,11 mm i dobivena je 1984. godine.

Drugi niz na kišomjernoj stanici Marija Gorica (NIZ 2) obuhvaća 23 člana. Aritmetička sredina niza ($\bar{x}$) iznosi 81,89 mm. Drugi izračunati parametar je standardna devijacija (σ) koja iznosi 14,82 m³/s. Koeficijent varijacije (c_v) ima vrijednost 0,18. Koeficijent asimetrije ima negativnu vrijednost $c_s = -0,54$. Minimalna vrijednost, srednjih godišnjih količina oborina, za izdvojeni niz iznosi 47,1 mm i dobivena je 2011. godine. Maksimalna vrijednost iznosi 108,73 mm i statina je 2014. godine.

Tablica 3-11 Prikaz vrijednosti srednjih godišnjih količina oborina na kišomjernoj stanici
Marija Gorica

MARIJA GORICA			
VRIJEME (godina)	UKUPNA GOD. KOL. OBOGINA (mm)	SREDNJA GOD. KOL. OBOGINA (mm)	OSNOVNI STATISTIČKI PARAMETRI
1983	902.1	75.18	
1984	1093.3	91.11	NIZ 1
1985	1017.5	84.79	$n_1=11$
1986	1010.5	84.21	$\bar{x} = 79,39$ (mm)
1987	938.8	78.23	$\sigma = 6,79$ m ³ /s
1988	858.2	71.52	$cv = 0,09$
1989	1061.8	88.48	$cs = 0,52$
1990	862.9	71.91	$\min = 71,52$ (mm)
1991	871.9	72.66	$\max = 91,11$ (mm)
1992	931.2	77.60	
1993	931.5	77.63	
1994	**	**	
1995	**	**	
1996	947.3	78.94	
1997	853.0	71.08	
1998	1086.8	90.57	
1999	1043.6	86.97	
2000	808.3	67.36	
2001	1109.9	92.49	
2002	1077.9	89.83	
2003	629.3	52.44	NIZ 2
2004	950.5	79.21	$n_2=23$
2005	1097.8	91.48	$\bar{x} = 81,89$ (mm)
2006	866.5	72.21	$\sigma = 14,82$ m ³ /s
2007	1018.3	84.86	$cv = 0,18$
2008	832.9	69.41	$cs = - 0,54$
2009	882.6	73.55	$\min = 47,10$ (mm)
2010	1238.6	103.22	$\max = 108,73$ (mm)
2011	565.2	47.10	
2012	1029.6	85.80	
2013	1212.0	101.00	
2014	1304.8	108.73	
2015	1092.7	91.06	
2016	999.6	83.30	
2017	1049.0	87.42	
2018	905.5	75.46	

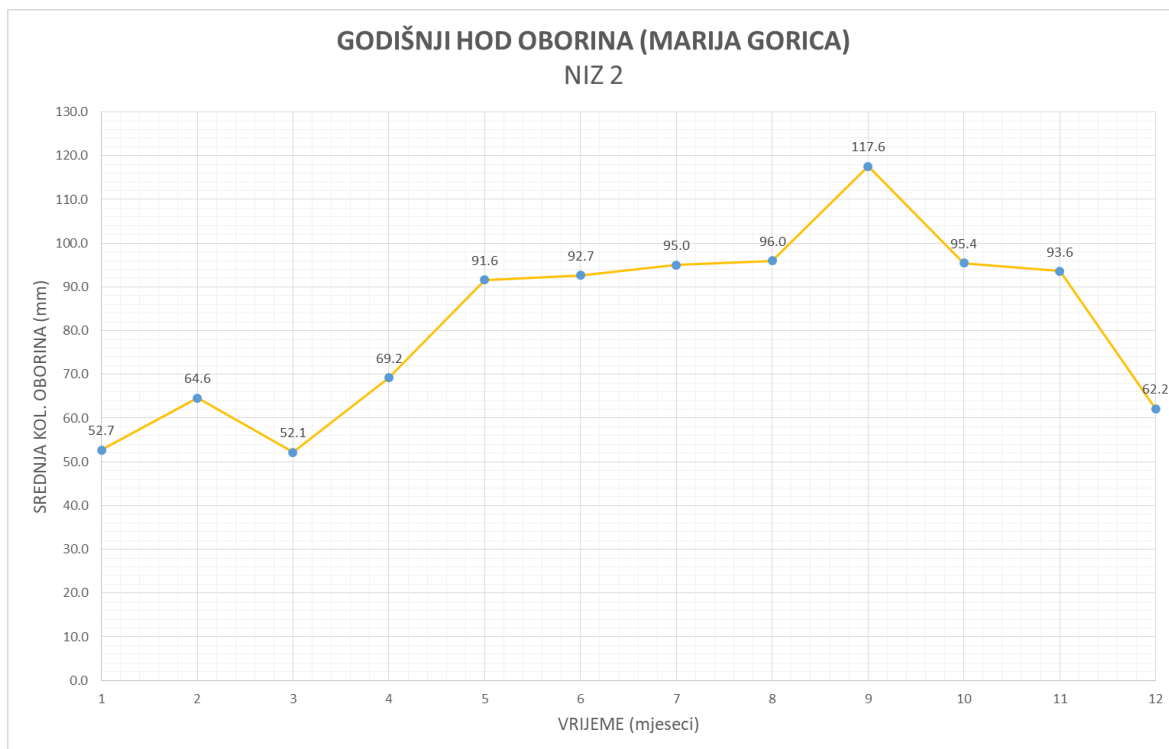
Na slici 3.7 prikazan je godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica za prvi niz. Godišnji hod oborina je grafikon koji predstavlja mjesečne vrijednosti. Na apscisi se nalazi 12 vrijednosti koje predstavljaju mjesec u godini, a na ordinati se nalaze srednje količine oborina koje se dobiju tako da se za svaki mjesec izračuna njegova srednja vrijednost (količine oborina) svih godina u nizu.



Slika 3.7 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica (NIZ 1)

Na osnovu godišnjeg hoda oborina u razdoblju od 1983. do 1993. godine, može se ustanoviti da se maksimalna količina oborina javlja u lipnju i iznosi 125 mm. Minimalna količina oborina javlja se u siječnju i iznosi 51,3 mm.

Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica za drugi niz prikazan je na slici (Slika 3.8).



Slika 3.8 Godišnji hod oborina na kišomjernoj stanici Marija Gorica (NIZ 2)

Na osnovu godišnjeg hoda oborina u razdoblju od 1996. do 2018. godine, može se ustanoviti da se maksimalna količina oborina javlja u rujnu i iznosi 117,6 mm. Minimalna količina oborina javlja se u ožujku i iznosi 52,1 mm. Minimalna i prosječna vrijednost je veća u drugom nizu, dok u prvom nizu imamo veću maksimalnu vrijednost količine oborina. Oscilacije u godišnjem hodu oborina su nešto više izražene u prvom nizu.

4. RASPRAVA

Rijeke, u praktičnom smislu, imaju raznovrsne prirodne i društveno-gospodarske funkcije. Predstavljaju važna staništa raznolikim vrstama biljaka i životinja te utječu na cjelokupni ekosustav. Rijeke imaju izrazitu prometnu, energetska, vodoopskrbnu i turističku vrijednost. Stoga, rijeke čine jedan bitan element čovjekova opstanka i razvoja kroz čitavu njegovu povijest. Zbog svega navedenoga, potrebno je razumijevanje i uvažavanje cjelokupnog funkcioniranja između vodnog sustava i zajednice koja ovisi, ali i utječe na njega.

Rijeka Sava protječe kroz nekoliko susjednih država, što promatrano s aspekta prostornog planiranja predstavlja kompliciranu političku situaciju koja zahtijeva međunacionalni kompromis. Smisljeno i produktivno planiranje ima neizmjeran značaj upravo zbog činjenice da se jedino na takav način prostor rijeke može urediti za konstruktivno korištenje. Svaki neprikladan pothvat dovodi u opasnost uravnoteženi i održivi razvoj širega prostora.

Pretpostavka da su promjene u hidrološkim nizovima podataka na području Hrvatske, nastupile osamdesetih godina prošlog stoljeća potječe iz prethodnih istraživanja poput disertacije doc.dr.sc. Krešimira Pavlića pod nazivom „Regionalna hidrološka analiza krškog porječja Kupe“. Promjene režima otjecanja nastale su zbog prekomjerne izgradnje akumulacijskih elektrana na rijeci Savi u Sloveniji. Jedne o poznatijih i većih slovenskih hidroelektrana na Savi su: HE Moste koja je izgrađena 1977. godine, HE Mavčiče koja je izgrađena 1986. godine i HE Vrhovo koja je izgrađena 1993. godine. U ovom radu je dokazano kako su promjene u režimu otjecanja rijeke Save započele osamdesetim godina prošlog stoljeća i upravo ta ubrzana gradnja slovenskih hidroelektrana na Savi može imati negativni utjecaj na naše područje istraživanja. Neki od negativnih utjecaja izgradnje hidroelektrana na riječnim tokovima su:

- brane sprečavaju kontinuitet životnog prostora za ribe i druge vrste uzduž riječnog toka jer onemogućavaju migracije riba, izmjenu pojedinih dijelova toka te time sprečavaju njihovo razmnožavanje,
- izgradnjom velikih brana i formiranjem akumulacija dolazi do promjene prirodnog riječnog toka u umjetni ili hibridni ekosustav s potpuno izmijenjenim životnim uvjetima u odnosu na prvobitne, ali i na one u prirodnim jezerima,

- akumulacije, odnosno brane utječu i na promjenu temperature vode u riječnom toku nizvodno od brane,
- brana mijenja režim pronosa sedimenta u rijeci, zaustavlja ga, a time je narušena ravnoteža izmjene erozije i sedimentacije koja postoji u prirodnim dijelovima toka,
- zbog povećanja učinkovitosti hidroelektrana rijeke se često kanaliziraju (učvršćivanje obala, skraćivanje meandara, uklanjanje riječnih otoka – sprudova) što smanjuje ili potpuno prekida komunikaciju površinskih i podzemnih voda uz obalu vodotoka, smanjuje sposobnost prirodnog samopročišćavanja vode, a time i sam opstanak poplavnih područja uz rijeke,
- akumulacije kao velike vodene mase utječu na lokalnu klimu područja snižavajući temperaturu zraka čak za 2 – 3 °C (Šibić, 2009).

Treba naglasiti da izgradnja hidroelektrana ima i mnogo prednosti, a neke od njih su:

- proizvodnjom električne energije ne stvara se otpad i nema emisija tvari koje onečišćuju okoliš (jer nema izgaranja goriva),
- niski proizvodni troškovi (nema troška goriva, dug životni vijek hidroelektrane),
- protočne hidroelektrane pomažu u prevenciji poplava i regulaciji riječnoga prometa,
- vodospremnici akumulacijskih hidroelektrana osiguravaju vodu za navodnjavanje i za kućnu uporabu (PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE, 2013).

Hrvatska, naime, ima pravo utjecati na slovenske odluke prema Espoo konvenciji o procjeni utjecaja na okoliš preko državnih granica. Espoo konvencijom su institucionalizirani mehanizmi za osiguranje učinkovitosti njene primjene. Jedan od instrumenata je istražni postupak odnosno formiranje istražne komisije. Istražni postupak se koristi u slučaju da postoji nejasnoća o tome može li doći do značajnih negativnih posljedica preko granica države. Ako se potpisnice ne mogu složiti oko toga, svaka potpisnica može proslijediti to pitanje istražnoj komisiji, koja će iznijeti svoj stav o vjerojatnosti negativnog utjecaja. Sljedeći mehanizam je ocjena usklađenosti. Radi se o postupku koji nije upravnosudski, nego je prije svega usmjeren na pružanje pomoći, a služi za ocjenu usklađenosti postupaka prekogranične procjene utjecaja na okoliš s odredbama Konvencije. U slučaju spora oko tumačenja ili primjene Espoo konvencije koji se ne može riješiti na

drugi način, države potpisnice mogu spor proslijediti Međunarodnom sudu i/ili zatražiti arbitražu. Konvencija je, također, uvela obavezu stalnog nadzora nad provedbom same Konvencije, te obavezu ocjene politike i metodološkog pristupa procjeni utjecaja na okoliš od strane potpisnica. Zastupnički dom Sabora Republike Hrvatske potvrdio je Konvenciju na sjednici 19. travnja 1996. godine, a Konvencija je stupila na snagu 10. rujna 1997. godine. Godine 2008. usvojen je „Zakon o potvrđivanju Izmjene i dopune Konvencije o procjeni utjecaja na okoliš preko državnih granica“, a 2009. godine su donesene „Izmjene i dopune Konvencije o procjeni utjecaja na okoliš preko državnih granica“ (Prekogranična procjena utjecaja na okoliš, 2009).

Za kraj treba nadodati da strategija održivog upravljanja vodama treba uspostaviti ravnotežu između iskorištavanja resursa radi gospodarskog razvoja i zaštite tog istog resursa, koji svojim prirodnim funkcijama i značajkama utječe na naš ekosustav. To je moguće ostvariti jedino uz shvaćanje cjelokupnog odnosa između prirodnih resursa i ljudske zajednice. U toj se zajednici se ne mogu ostvariti sva pojedinačna očekivanja i zadovoljiti svi pojedinačni zahtjevi, ali treba težiti tome da odluke koje se donose budu objektivne, da se prije njihove provedbe vode javne rasprave u kojima se čitava javnost može informirati o problemu, da se uvedu mjere energetske efikasnosti i nastoje smanjiti gubitci u distribucijskoj mreži te da se pokušaju umanjiti svi negativni utjecaji kako na biljni i životinjski svijet tako i na ljudsku zajednicu.

5. ZAKLJUČAK

Rad se sastoji od pregleda Wilcoxonovog testa homogenosti koji je proveden na temelju podataka o protocima zabilježenim na hidrološkoj stanici Podsused žičara koja se nalazi na rijeci Savi te stanice Kupljenovo koja se nalazi na rijeci Krapini. Za ukupni niz se uzimalo razdoblje od 1964. do 2018. godine. Ukupni niz na svakoj hidrološkoj stanici je podijeljen u dva niza: originalni i modificirani niz. Zbroj članova originalnog i modificiranog niza čini ukupni niz. Za originalni i modificirani niz, na objema hidrološkim stanicama, izračunati su osnovni statistički parametri poput: prosjeka, standarde devijacije, koeficijenta varijacije (c_v) i koeficijenta asimetrije (c_s).

Ispitivanjem homogenosti srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Podsused žičara (Sava) dobiven je prvi nehomogen modificirani niz u razdoblju od 1981. do 2018. Slijedom toga, ustanovljeno je da 1981. godina predstavlja početak promjene u režimu otjecanja na rijeci Savi. Rezultati ispitivanja homogenosti na rijeci Krapini nam s klimatološkog aspekta ukazuju da nije bilo promjena u režimu otjecanja na razmatranom području istraživanja. Hidrološka stanica Kupljenovo je prilikom ovog testiranja bila regulacijska stanica zbog saznanja da na rijeci Krapini nije bilo ljudskih djelovanja. Rijeka Sava ima nehomogenost, međutim, bez rezultata homogenosti s rijeke Krapine nelogično je preciznije zaključiti od kuda ona potječe. Stoga, možemo ustanoviti da nehomogenost na rijeci Savi potječe od ljudskog djelovanja.

6. LITERATURA

FILIPČIĆ, A. (1998): *Klimatska regionalizacija Hrvatske po W. Köppenu za standardno razdoblje 1961. – 1990. u odnosu na razdoblje 1931. – 1960.*, Prirodoslovno-matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

PAVLIĆ, K. (2016): *Regionalna hidrološka analiza krškog porječja Kupe*. Doktorski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

PREŽIGALO, N. (2019): *Usporedba empirijskih i statističkih metoda pri izračunu maksimalnih protoka na primjeru sliva rijeke Horvatske*. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

ŠIBIĆ, L. (2009): *Posljedice gradnje hidroelektrana na riječne tokove*. Završni rad. Prirodoslovno-matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

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

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

TADIĆ, J. (2019): *Kroskorelacijska analiza hidrograma izvora u golom kršu Hrvatske – izvor rijeke Rude*. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

TURNŠEK, M., PAUNOVIĆ, A. (2002): *Glavne strateške odrednice vodnog resursa Save u prostornom planiranju, Hrvatske vode - časopis za vodno gospodarstvo*.

ZANINOVIĆ, K., I SUR. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

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

Internetske stranice:

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Sava> pristupljeno 20.2.2021.

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Krapina> pristupljeno 20.2.2021.

https://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_69-70_2009_257-268_trninc-bosnjak.pdf pristupljeno 25.2.2021.

https://hr.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppenova_klasifikacija_klime pristupljeno 25.2.2021.

<https://www.voda.hr/hr/novosti/sava-rijeka-s-najduljim-vodotokom-u-hrvatskoj> pristupljeno 26.2.2021.

<http://savagis.org/map;jsessionid=2F465E1CC53D764ACB15926B9D1B4510> pristupljeno 14.4.2021.

https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja¶m=pmm&el=kisomjerne pristupljeno 18.4.2021.

https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja¶m=hm pristupljeno 18.4.2021.

http://www.savacommission.org/dms/docs/dokumenti/srbmp_micro_web/srbmp_approved/plan_upravljanja_slivom_rijeka_save_odobren_bih_bos.pdf pristupljeno 8.5.2021.

http://aarhus.ba/sarajevo/images/docs/Konvencija_o_procjeni_prekogranicnog_uticaja_na_okolis.pdf pristupljeno 10.5.2021.

http://radioaktivniotpad.org/wp-content/uploads/2015/02/Brosura_MMG_web1.pdf pristupljeno 15.5.2021.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2019-10-Tamar_slap_Nadi%C5%BEEa_\(29\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2019-10-Tamar_slap_Nadi%C5%BEEa_(29).jpg) pristupljeno 16.5.2021.

http://radioaktivniotpad.org/wp-content/uploads/2015/02/Brosura_MMG_web1.pdf pristupljeno 20.5.2021.

PRILOG 1/3					
PODSUSED ŽIČARA (SAVA) - SREDNJI PROTOCI					
Godina	Q (m³/s) kronološki	Q (m³/s) po veličini org. i mod. niz	Q (m³/s) po veličini zajednički niz	Rang k	Broj članova originalnog i modificirnog niza
1964	324	426	474	1	
1965	426	392	426	2	
1966	321	382	398	3	
1967	257	364	392	4	
1968	277	356	387	5	Originalni niz
1969	382	349	382	6	n ₁ = 17
1970	349	325	368	7	SQ = 323,24 m³/s
1971	237	324	364	8	σ = 50,42 m³/s
1972	392	321	356	9	cv = 0,16
1973	269	309	349	10	cs = 0,28
1974	325	307	332	11	
1975	306	306	325	12	
1976	307	294	324	13	
1977	309	277	321	14	
1978	294	269	320	15	
1979	364	257	313	16	
1980	356	237	313	17	
1981	260	474	309	18	
1982	305	398	307	19	
1983	202	387	307	20	
1984	307	368	307	21	
1985	313	332	306	22	
1986	286	320	306	23	
1987	313	313	305	24	
1988	243	313	305	25	
1989	233	307	303	26	
1990	258	307	298	27	
1991	291	306	294	28	
1992	268	305	291	29	
1993	226	305	287	30	
1994	242	303	286	31	
1995	260	298	286	32	Modificirani niz
1996	398	291	283	33	n ₂ = 38
1997	275	287	278	34	SQ = 283,68 m³/s
1998	320	286	277	35	σ = 58,93 m³/s
1999	305	286	275	36	cv = 0,21
2000	286	283	269	37	cs = 0,81
2001	287	278	268	38	
2002	236	275	267	39	
2003	156	268	260	40	
2004	332	267	260	41	
2005	278	260	258	42	
2006	267	260	257	43	
2007	225	258	254	44	
2008	303	254	245	45	
2009	298	245	243	46	
2010	387	243	242	47	
2011	183	242	237	48	
2012	254	236	236	49	
2013	368	233	233	50	
2014	474	226	226	51	
2015	245	225	225	52	
2016	307	202	202	53	
2017	283	183	183	54	
2018	306	156	156	55	
E(s)	σ(s)	S0	U		
1064.00	54.91	1212	2.70		

PRILOG 2/3					
PODSUSED ŽIČARA (SAVA) - MAKSIMALNI PROTOCI					
Godina	Q (m³/s) kronološki	Q (m³/s) po veličini org. i mod. niz	Q (m³/s) po veličini zajednički niz	Rang k	Broj članova originalnog i modificirnog niza
1964	2965	2965	3360	1	
1965	1767	2839	3332	2	
1966	2635	2662	2965	3	
1967	1460	2635	2839	4	
1968	1598	2316	2668	5	
1969	1660	2302	2662	6	
1970	1552	1821	2635	7	Originalni niz
1971	1198	1767	2557	8	n ₁ = 17
1972	2316	1660	2525	9	SQ = 1901,24 m³/s
1973	2302	1598	2396	10	σ = 590,77 m³/s
1974	1821	1552	2316	11	cv = 0,31
1975	1439	1500	2303	12	cs = 0,62
1976	1500	1460	2302	13	
1977	1459	1459	2260	14	
1978	1148	1439	2207	15	
1979	2662	1198	2079	16	
1980	2839	1148	2057	17	
1981	1005	3360	2014	18	
1982	1980	3332	2009	19	
1983	1469	2668	2004	20	
1984	1513	2557	1980	21	
1985	1692	2525	1980	22	
1986	1356	2396	1951	23	
1987	1728	2303	1926	24	
1988	1356	2260	1899	25	
1989	1526	2207	1851	26	
1990	3332	2079	1842	27	
1991	2207	2057	1821	28	
1992	1926	2014	1767	29	
1993	2079	2009	1728	30	
1994	1360	2004	1692	31	
1995	1319	1980	1660	32	
1996	1842	1980	1656	33	
1997	1656	1951	1647	34	Modificirani niz
1998	2557	1926	1598	35	n ₂ = 38
1999	1407	1899	1552	36	SQ = 1888,24 m³/s
2000	2004	1851	1541	37	σ = 530,58 m³/s
2001	1980	1842	1526	38	cv = 0,28
2002	1262	1728	1513	39	cs = 1,01
2003	1258	1692	1500	40	
2004	1951	1656	1469	41	
2005	1851	1647	1460	42	
2006	2009	1541	1459	43	
2007	2014	1526	1458	44	
2008	1647	1513	1439	45	
2009	2303	1469	1407	46	
2010	3360	1458	1360	47	
2011	1458	1407	1356	48	
2012	2668	1360	1356	49	
2013	2057	1356	1319	50	
2014	2525	1356	1262	51	
2015	2396	1319	1258	52	
2016	1899	1262	1198	53	
2017	2260	1258	1148	54	
2018	1541	1005	1005	55	
E(s)	σ(s)	S0	U		
1064.00	54.91	1059	-0.09		

PRILOG 3/3					
PODSUSED ŽIČARA (SAVA) - MINIMALNI PROTOCI					
Godina	Q (m³/s) kronološki	Q (m³/s) po veličini org. i mod. niz	Q (m³/s) po veličini zajednički niz	Rang k	Broj članova originalnog i modificirnog niza
1964	73.4	119.0	119.0	1	
1965	87.1	101.0	114.0	2	
1966	119.0	101.0	101.0	3	
1967	81.5	96.0	101.0	4	
1968	96.0	94.7	96.0	5	
1969	101.0	91.8	94.7	6	Originalni niz
1970	94.7	87.1	91.8	7	n ₁ = 17
1971	55.6	86.1	90.3	8	SQ = 85,40 m³/s
1972	80.6	84.7	88.8	9	σ = 14,67 m³/s
1973	70.1	81.5	87.1	10	cv = 0,17
1974	101.0	80.6	86.1	11	cs = 0,28
1975	86.1	79.7	85.8	12	
1976	84.7	78.1	84.7	13	
1977	91.8	73.4	82.6	14	
1978	71.4	71.4	81.5	15	
1979	78.1	70.1	81.5	16	
1980	79.7	55.6	80.6	17	
1981	85.8	114.0	79.7	18	
1982	70.4	90.3	78.8	19	
1983	64.0	88.8	78.3	20	
1984	81.5	85.8	78.1	21	
1985	71.9	82.6	78.0	22	
1986	76.0	81.5	77.7	23	
1987	78.0	78.8	76.1	24	
1988	76.0	78.3	76.0	25	
1989	57.0	78.0	76.0	26	
1990	76.1	77.7	73.4	27	
1991	78.3	76.1	71.9	28	
1992	52.7	76.0	71.4	29	
1993	43.6	76.0	71.0	30	
1994	61.9	71.9	71.0	31	
1995	59.1	71.0	70.6	32	
1996	88.8	71.0	70.4	33	Modificirani niz
1997	82.6	70.6	70.1	34	n ₂ = 38
1998	90.3	70.4	69.4	35	SQ = 69,62 m³/s
1999	77.7	69.4	69.3	36	σ = 13,44 m³/s
2000	64.8	69.3	68.9	37	cv = 0,19
2001	65.6	68.9	67.6	38	cs = 0,68
2002	62.1	67.6	66.4	39	
2003	44.7	66.4	65.9	40	
2004	68.9	65.9	65.6	41	
2005	71.0	65.6	64.8	42	
2006	70.6	64.8	64.0	43	
2007	65.9	64.0	62.1	44	
2008	66.4	62.1	61.9	45	
2009	71.0	61.9	61.9	46	
2010	69.4	61.9	59.1	47	
2011	56.4	59.1	57.6	48	
2012	57.6	57.6	57.0	49	
2013	67.6	57.0	56.4	50	
2014	114.0	56.4	55.6	51	
2015	78.8	52.7	52.7	52	
2016	61.9	47.9	47.9	53	
2017	47.9	44.7	44.7	54	
2018	69.3	43.6	43.6	55	
E(s)	σ(s)	S0	U		
1064.00	54.91	1268	3.72		